“十一五”国家重点图书出版规划项目 · 科技史文库

国家科学技术学术著作出版基金 NFAPST

中国天文学史大系

# 中国古代天体测量学及天文仪器

吴守贤　全和钧　主编



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

中国天文学史大系

中国古代天文学思想

中国古代历法

中国古代星占学

中国少数民族天文学史

中国古代天文学家

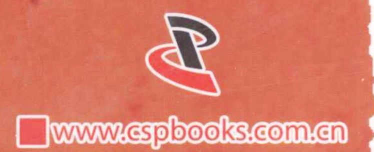
中国古代天体测量学及天文仪器

中国古代天文机构与天文教育

中国古代天象记录的研究与应用

中国古代天文学的转轨与近代天文学

中国古代天文学词典





ISBN 978-7-5046-6138-8
9 787504 661388 >
定价：122.00元

“十一五”国家重点图书出版规划项目·科技史文
国家科学技术学术著作出版基金资助出

中国天文学史大系

# 中国古代天体测量学及天文仪器

吴守贤　全和钧　主编

中国科学技术出版社
·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

中国古代天体测量学及天文仪器/吴守贤,全和钧主编. —北京:中国科学技术出版社,2012.7

(中国天文学史大系)

ISBN 978-7-5046-6138-8

Ⅰ.①中… Ⅱ.①吴…②全… Ⅲ.①天体测量学-中国-古代②古天文仪器-中国 Ⅳ.①P12②P111.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 158218 号

**选题策划** 吕建华 许 英
**责任编辑** 许 英 余 君
**封面设计** 赵 鑫
**责任校对** 凌红霞
**责任印制** 王 沛

**出　　版** 中国科学技术出版社
**发　　行** 科学普及出版社发行部
**地　　址** 北京市海淀区中关村南大街 16 号
**邮　　编** 100081
**发行电话** 010－62173865
**传　　真** 010－62179148
**网　　址** http://www.cspbooks.com.cn

**开　　本** 787mm×960mm 1/16
**字　　数** 623 千字
**印　　张** 34.75
**印　　数** 1—1500 册
**版　　次** 2013 年 1 月第 1 版
**印　　次** 2013 年 1 月第 1 次印刷
**印　　刷** 北京华联印刷有限公司

**书　　号** ISBN 978-7-5046-6138-8/P·162
**定　　价** 122.00 元

# 《中国天文学史大系》编委会



# 总 序

中国古代天文学建树非凡，遗泽久长，是我们民族的骄傲。我一直怀着崇敬的心情向往着这份文化珍宝。只是数十年漫漫学海中有许多错过的机缘，以致今天仍还像是一个鹄立在圣殿门前的朝圣者，终未能进入门庭。尽管如此，我仍然感受到很大的喜悦、有幸在新中国成立初期百废待兴之际，见证了在竺可桢先生的倡导下，中国古代天文研究跨出了前所未有的聚集人才、系统“攻关”的一步。从那时起，经两代人的努力，资料齐集，成绩斐然。如今又促成了这一由中国科学院自然科学史研究所牵头，组织全国各单位的天文学史研究者齐力完成的学术壮举——一部上起夏商，下逮近代，罗列我国古天文学万象的六百万言鸿篇巨制！

纯粹用现代科学的眼光审视古代天文学，首先，它是一门旨在认识天文世界——发现天文现象、探究天文规律的自然科学。这和今日的学科定位并无不同。其次，它是一门“观测的科学”，今日也仍然如此。如果把天文观测工具的“古”的界限设在天文望远镜应用之前，那么古代天文学眼界中所有的天体不超过7000个，这使得天文实测研究的对象限于几个太阳系天体的表象及其运行轨迹，星空的监测以及几千个恒星的定位和陈列。这些，中国和其他古代文明的情况基本上一致，可以认为是历史的必然。

与之相应的天文理性认知的探求，这样规模的“天”，相对于地上的万物和人间的万众，虽然仍然是伟大、永恒，但也显得比较简单、稳定，导致了我国古代“天覆地载，人居于中”、天地人“三才”协调的宇宙观。这在一方面形成了宇宙结构、天体演化、天人感应的种种学说，成为我国古代哲学思想的一个组成部分；另一方面，把天文实测结果的解释引向到“天文”与“地理”的相关性、“天道”与“人事”的相关性的探求。前者把“天”联到了“地”，导致了在“时政”、“编历”这些“国之大政”上的应用；后者把“天”联到了“人”，应用到了当时同样属于“国之大政”的“星占”。这




些“应用天文学”备受尊崇，历代政权为之设立专职，在设备投资、人员培训上享有优遇，结果在历史长卷中成为我国古代天文学发展的主线索：保持了天象监测的长期持续性、主导了一代代天文仪器、实测方法的研究和发展以及一代代历算方法（和有关数学）的研究和发展。由此形成的堪称完整的体系，加上求实、求精的敬业传统，为我们留下了大量宝贵的历史资料和学术资料（其中也包括了与之相互影响的历代官方与非官方的天文著述，也包括了频繁出现的天文文物）。这种由长期皇权统治产生的古代版的“任务带动学科”的发展模式，历史功过暂且不去评论，但这份“资料宝库”对于今日中国天文学史工作者来说则是巨大的学术资源，当然同时也是巨大的责任，要很好地发掘和整理。

继20世纪70年代后期天文史料的一次大规模整理，中国天文学史工作者“自1979年起开始思索：是否有可能编著一部与中国天文学的悠久历史和广阔的内涵相适应的中国天文学史著作？商议的结果便是《中国天文学史大系》构想的诞生”（薄树人先生语）。

天文学是我国古代最发达的自然科学之一，在华夏科学、文化史中是一个具有连贯性的组成部分。在《中国天文学史大系》（以下简称《大系》）的全套书结构中，《中国古代历法》、《中国古代天体测量学及天文仪器》、《中国古代星占学》、《中国古代天象记录的研究与应用》、《中国古代天文学思想》、《中国古代天文机构与天文教育》、《中国古代天文学家》各立一卷，以概全面。完成这样的一部《大系》，可谓是从一个重要的侧面来认识华夏文化的源与流。



近世100多年，华夏文化受西方文化的冲撞，激湍跌宕，对传统文化的理解和传承出现前所未有的震动，至今波澜未已。其间在天文学上体现为结束古代传统、“转轨”西化、进入近现代的航道。《大系》中所设的《中国古代天文学的转轨与近代天文学》一卷，阐述了这一时期的历史。

全套书中用《中国少数民族天文学史》一卷介绍了对同属华夏文化的发掘和整理，是一项开辟性的探索。另一卷《中国古代天文学词典》篇幅达47万字，对天文典籍阅读者是十分有用的工具，也是好伴侣。《大系》共10卷，每卷40万到80万字。格局齐整，足以副“大系”之称。这是当年我国一代中青年天文学史工作者“聚水成渠”的宏愿。回溯“五



四”运动大潮中，我国现代天文学的先驱者们在率先“西化”的同时就着力启动了我古代天文学遗产的自力发掘和整理。60 年过后我们喜见《大系》的构思(1979)，然后是构思落实为计划(1990)、诞生了文稿(1999)，现在文稿得以付梓(2007)完成了“多年修就的善果”(陈美东先生语)。

《大系》从构思到面世历时四分之一世纪。多位学者为之贡献了属于一生中最好的年华。他们如今青丝成雪，有几位且已过早地离开了我们。编委会主任薄树人先生从一开始就为《大系》的筹、编、写呕心沥血，奋斗到了最后一息(1997)。继后陈美东先生以令人钦佩的执着挑起担子，完了大家的宏愿。而他们二位在本书跋记中所透露的甘辛，或亦足以在相应历史中着上耐人寻思的一笔！

王绶琯

2007 年 7 月于北京






# 前 言

众所周知，学科的分支在早期的科学研究中并不存在，而是随着科学研究发展逐步形成的，直到现在对分支学科的严格界定也十分困难。研究古代天文学时，我们也遇到相同的问题，我们只能根据现代学科的分支概念，去提取古代天文学的适当部分纳入现代学科分支的框架，并加以追溯和描述，弄清楚它们的源流。

本书分上篇、下篇，包括五个部分。

“观象授时”是古代中国天体测量的萌芽阶段。尽管它也是历法部分的前奏，但是“观象”则不折不扣地是天体测量学。这一部分由徐世忠和吴守贤共同编撰。

“恒星方位天文”是中国古代天体测量最辉煌的篇章。从世界上第一部恒星星表起，历经唐宋以来几次大规模的恒星方位测量，到元代郭守敬的创造性工作，无不使世界上的天文学家赞叹不已。以恒星星表为基础所发展起来的精制星图，不仅仅是恒星星表枯燥的几何图像，而实际上也是当时的艺术精品。当我们把这些成果，用较大的篇幅展现在读者面前的时候，时时都看到我们伟大的民族对人类科学事业的辉煌贡献，并为我们先辈的睿智而感到骄傲。这一部分由郭盛炽编撰。

“天文学常数”的确定，在中国古代从来没有作为独立的问题提出过，但有些中国古代天文学家凭借实事求是的科学态度，为了其研究领域需要而留下了大量宝贵的实测数据，这实际上也是他们进行了某些天文常数测量的结果。只是到了现代才被一些中国和外国的天文学家分析发掘出来。本书首次把天文常数作为独立的研究领域，在一些天文学史专家研究的基础上，系统地、综合地将研究成果展示在读者面前。这一部分由吴守贤编撰。

“实用天文学”在中国古代有自己独特的表达方式。球形地球的概念在中国古代宇宙结构研究中时有体现，但从来没有在实测天文学家的观念中牢固地建立起来；也因此，经纬度表示的地理坐标虽然初见萌芽，




但并未付诸实施。不过毕竟由于行政区域管理、军事征战等的需要，中国古代确实建立过相应的地理图。将其原貌展示给读者也是必要的。实用天文学中的航海天文导航，则因郑和七下西洋的伟大创举，而给后人留下了十分灿烂的篇章。这一部分由全和钧与吴守贤共同编撰。

“天文仪器”与任何仪器一样是人类感觉的延伸，亦是研究日月星辰运行规律的重要工具和手段。天文仪器的研制是天文学发展的基础，每当发明新的天文仪器，必将会取得更准确的天体测量结果。中国古代天文仪器，大致可分为四类：测角类的，如表、圆仪、浑仪、简仪、仰仪、正方案等；测时间类的，如圭表、晷仪、日晷等；守时类的，如漏壶、更香、秤漏等；演示类的，如浑象、假天等。此外还有综合类的，即集测时、守时、报时等性能于一身的，如漏水转浑仪、水运浑天、水运仪象台等。值得一提的是中国古代的天文仪器制作精美、构思巧妙、用途广泛，有的至今为各国学者所称道。这一部分由全和钧编撰。

在本书上篇末尾的附录中提供了一份特殊的“恒星位置表”，这是潘鼐先生在编著《中国恒星观测史》一书时，建议吴守贤提供中国历史上曾经出现过恒星星名的1 800颗恒星的3 000年来每年年首平位置表，后来由刘次沅与吴守贤编成，该星表编成后受到天文学史工作者的欢迎。这次由刘次沅选择索用最多的224颗恒星给出了4 000年来每间隔200年的一次年首平位置，汇制成表，以供专门研究者应用与参考。





最后，衷心感谢我国著名的天文学史专家薄树人先生，薄先生对书稿提出了宝贵的意见，并作了细致的审阅和修改。同时感谢潘鼐先生、陈美东先生和李竟先生的无私帮助。在编写中国古代“天文仪器”内容时，得到徐振韬、伊世同两位先生的大力帮助，特表感谢。

在编著过程中得到中国科学院“重点项目基金”资助，也得到陕西省科学技术委员会“自然科学基金”资助，谨申谢忱。

吴守贤[①]　全和钧[②]

2007年7月

① 中国科学院国家授时中心(即原陕西天文台)。

② 中国科学院上海天文台。



# 目 录

## 上篇 中国古代天体测量学












# 下 篇 中国古代天文仪器
















# 上　篇

## 中国古代天体测量学



# 第一章　中国古代天体测量学概述

从人类在地球上诞生的第一天起，为了自身的生存与发展，为了种族的兴旺与发达，就开始了与大自然的斗争，这种斗争实质上是为自身的生息繁衍而向大自然进行的索取。因此，人类就必须对大自然及其规律不断地观察、发现，不断地发明新的方法和工具，通过实践去创造财富。这种经验的积累，事实上也是知识的积累。从某种意义上说，在那个时代，人类已经开始了科学研究，相应的科学技术已经诞生，人类已经有了第一批科学家。

第一个重大的发现是"火"，这个发现是人类文明史上具有划时代意义的事件。第一个重大的发明是钻木取火，这是人类文明史上具有里程碑意义的创造。随后更多的发现与发明接踵而至。

例如利用圆周运动的切线加速度原理而制成的打击远方野兽的飞石武器，利用液体浮力原理做成的从江河湖泊取水的尖嘴瓶，等等，无一不是那个时代科学家的杰作。那个时代的人们没有想到过科学应该有分科，更没有去追究某一个人是在研究力学还是在研究化学，在他们看来，神秘的大自然隐含着无限的奥秘，只要把其规律提取出来为人们所用就心满意足了。

把科学按照研究的对象或者按照研究的方法分解成各种分支学科，可以说是后代人在目不暇接的自然规律面前无可奈何的自发结果。一个人的短暂一生不可能懂得所有的知识，更不可能在广泛领域内去深入钻研，因此很自然地出现各种分门别类的分工研究领域。李时珍以其毕生的心血编著《本草纲目》时，当然不会再去研究日月星辰运动的规律；当祖冲之精心研究圆周率和编修历书时，大概也不会对飞禽走兽发生兴趣。有少数博学的学者凭借他们的天才悟性，一生中可能在很多领域内取得了成就，但是终究还是在一个有限的范围之内。随着研究的深入和揭示大自然规律的广泛，这种自发的分工，逐渐发展成了自觉的分工，从而产生了以物理学、化学、生物学、天文学、地学、数学等为一级分支学科的科学，后来又逐渐发展出二级和三级分支学科。

当现代科学家涉入科学的门槛时，这些学科分支已经形成，而学校就是按照这种分科对学生们进行熏陶的。现代科学家已经习惯于现有的学科分支框架，因此要想研究某种学科的过去科学活动发展史，往往要顺着时间序列按着这种框架向后推移，不料向后走得愈远，就愈觉得与现代的分支大相径庭。




英国历史学家巴特非尔德(H. Butterfield)认为[①]:

> 那种以直接参照今日的观点来编制历史的方法,对于历史的理解是一种障碍。因为这意味着把某种原则和模式强加于历史之上,必定会使写出的历史完美地会聚于今日。历史学家将很容易认为从他过去中看到今天,而恰恰相反他所研究的实际上却是一个与今天相比内涵完全不同的世界。

另一位科学史专家库恩(T. S. Kuhn)指出:

> 在可能的范围内,科学史家应抛开他所知道的科学,他的科学要从他所研究的时期的教科书和刊物中去学来……他要熟悉当时这些教科书和刊物及其显示的固有传统。

因此简单地用现代的科学分支的框架去衡量古代科学家的成就,往往是不能成功的,也是极其不准确的。研究古代的科学成就,必须学会回到古代科学家当时的环境之中,只有在当时背景下分析和研究,才能真正理解古代科学家成就的内涵和价值,才能真正理解他们天才的创造和他们的杰出之处。即或是按照现代的观点稍加延伸本来就可以得到的发现,在那些天才的眼皮下也会遗憾地被悄悄漏过。这虽然使我们困惑不解,但我们也不会因此而责怪他们。

现代的科学框架奠基于古代希腊,天文学也并不例外。当近代的西方天文学家取得了他们的成就时,常常会追溯到公元前7世纪以后的泰勒斯(Thales)、毕达哥拉斯(Pythagoras)、柏拉图(Plato)、亚里士多德(Aristotle)、喜帕恰斯(Hipparchus)等著名的古代希腊天文学家,其实他们也是毫不逊色的数学家、物理学家和哲学家。自从"西学东渐"以来,已经衰弱的中国天文学完全被西方天文学所取代,以致现代的中国天文学家也很自然地师承于古代希腊天文学。这种现状,几乎已经席卷全球。对于世界上各个民族都毫无例外。对于一些有悠久历史文化的古老民族,也许是一个悲剧,因为这迫使他们不得不放弃本民族祖先所取得的成就,即使也许它具有政治、文化、经济以及科学发展需要的某种历史必然性,这已经是许多科技史领域和人类文化史领域的专家长期关注的一个十分耐人寻味的问题。





谁都知道,任何一个古老的民族都有自己的灿烂文化体系,对于与人类历史一样古老的天文学,每个民族当然也有它自己的体系。在世界上四大文明古国中,中华民族的崛起在时间顺序上稍后于巴比伦、印度和埃及,但是由于特定的历史背景作用,中华民族的古代天文学却特别的辉煌,其最主要的原因,是中国古代历代王朝的统治者都把颁行历书作为国家的头等大事,正如司马迁在《史记·历书》中所说:

---

① 转引自江晓原:《天学真原》,辽宁教育出版社,1991年,第5页。



王者受命，必慎始初，改正朔，推本天元，顺承厥意。

盖三王之正，弓则反本，天下有道则不失纪序，失道则正朔不行于诸侯。

显然，这是受命于天的皇权权威的表现。这样，中国天文学就在这种特殊的政治背景下，令人惊讶地发展起来。中国古代天文学的发展虽然不排斥曾经与印度、巴比伦、埃及、古希腊、古罗马天文学的相互交融，但是从根本上讲，中国古代天文学是独树一帜的，它有自己的独到之处。

这种本民族自成体系的天文学与现代科学框架下的天文学有什么联系，曾经引起中外学者近几个世纪的关注。他们都试图找到中国古代天文学的成就在现代天文学框架中的位置。最早进行这种探索的是把西方天文学引进中国的一些西方传教士。他们的研究虽然起了先导作用，但是他们毕竟对中国的固有文化知之甚少，与中国古代汉语很难沟通，所以得出了很多似是而非的结论。比较有成就的当推现代的科学史专家李约瑟博士(J. Needham)。另外，在20世纪初中国产生了留学西方全面接受西方天文学熏陶的现代天文学家，他们既通晓现代天文学又对中国古代汉语和历史文化有很高的造诣，这也使他们取得了较深入的研究。以高鲁、朱文鑫、陈遵妫、刘朝阳为代表的老一辈天文史学家和以席泽宗、薄树人、张培瑜、陈美东、陈久金、卢央为代表的第二代天文史专家，都取得了令世界天文学界为之瞩目的成果，从而把我们伟大民族的天文学成就引向了世界。

据作者的理解，发起编著《中国天文学史大系》的初衷就在于总结归纳这些研究成果，弘扬我们伟大民族在天文学上的贡献，并试图把这种研究推向新的高度，使中华民族的成就真正成为全人类的共同财富，使其灿烂的光辉更加闪耀夺目。

《中国天文学史大系》是一部内容十分浩瀚的巨著，当然需要从不同的角度去考察中国的古代天文学成就，这同样会发生如何分科的问题。

现代天文学的二级分支学科，习惯上是按照研究方法分为天体测量学、天体力学和天体物理学，但是这种分科对于中国古代天文学完全不适用。在中国古代没有产生过天体物理学，而天体物理学本身也是直到19世纪才创立，世界上其他古老民族也没有天体物理学。而天体力学在中国也只是少量天文学家的零星猜想，从来没有作为一门学科系统地研究过。如果按这样的学科框架，除掉富于哲学内涵的宇宙论，和富于政治目的的历书天文学外，中国古代天文学则全部是天体测量学。但是如果按照这样理解，那么天体测量应该包含什么内容，就很难予以界定，因此，讨论中国古代的天体测量应包含什么内容是非常必要的。

其实学科的分支和它的内容并非一成不变，因为学科的分支往往并不是一维的，它往往是矩阵形甚至是三维的。以天文学为例，一般地认为天文学分成以几何

方法为主的天体测量学、以力学机制联系的天体力学和以研究天体的物理特征并以现代物理方法为主的天体物理学，这仅仅是比较粗旷的一维分支。如果以研究的对象来分，则可以分为行星天体测量、恒星天体测量、太阳系天体力学、星系力学、行星物理、月亮物理等，这是不同于前面粗旷分支的另一个坐标轴上的分支。如果再按接受天体电磁波信息作为研究方法分，还可以分为光学天体测量、射电天体测量、空间天体测量、太阳射电天文学、红外恒星天文学等，这又是另一个坐标轴上的分科。我们把这个问题叙述得这样复杂，并不是说古代就是如此，我们把这个问题如此地展示出来是想建立两个概念：首先，学科分支是一个发展的过程，它并不是一成不变的。其次，学科分支在一定程度上有客观标准，但在颇大的程度上是人们为了研究的方便。

因此，对于学科分支不应该拘泥于某些呆板的原则。在这样的理解下，根据我们研究的时代，以及它自身的特征来界定中国古代天体测量的内容，就可能比较容易得到共识。

中国古代天文学重要的特征是历书天文学内容特别丰富，而几乎所有的天体测量学成果都是以编算历书为其目的，特别是太阳系内有关的天文常数的问题，它是历书不断改进的重要支撑成果。但是作为天文常数这样一个专门问题，有必要提炼出来，从另一个角度专门论述的，因为它会涉及太阳系以及太阳系某些天体及其运动特征的尺度问题。

例如回归年长度和朔望月长度，显然是反映地球公转和月球公转的两个重要常数，但是由于中国古代历法是采用阴阳历，则产生了人为选定的闰周来协调这个矛盾。从历书的角度则是以确定闰周为目的，在某种闰周确定后，回归年长度和朔望月长度就可以相互换算，显然这同从天文常数的角度出发，把它当成两个独立的物理参数研究，是有区别的。



又如子午线测量的目的是为了证实“影差一寸地差千里”的错误臆断，著名天文学家一行可能没有想到，他所组织的子午线弧长的测量竟是对地球半径这一天文常数的确定。当然子午线测量和历书关系不大，他是为研究某种宇宙论时而开展的这一测量，不管一行的研究目的是什么，客观上得到的地球半径则是天文常数测定史上的重要成果，因此，在叙述天体测量史时有必要纳入天文常数的范围以内。

可见天文学常数应该是天体测量的更次一级学科分支系统的专门研究。为此与其他卷产生某些重复是难以避免的。我们的原则是尽量避免重复，但又适当允许交叉，这个原则也是合理的。

在这样的考虑之下，本分卷的内容就可以这样界定，它包含：



(1)中国古代恒星方位天文学；

(2)中国古代关于日月行星方位与运动；

(3)太阳系内若干天体的参数测定；

(4)中国古代的实用天文学。

恒星方位天文主要是编制恒星星表与绘制星图。其实星图是恒星星表的几何直观表示，如果除掉其绘制星图的艺术成就外，从天文学意义讲，它与星表在本质上是一回事。在现代的恒星星表中，已经包含有反映每颗恒星的特征的颇多的信息，诸如：恒星坐标、恒星离太阳系的距离、恒星的运动、恒星的亮度，等等，甚至为了某种特别的信息编制专门的星表(例如恒星视差表)。但是对于恒星信息的收集和认识，是经历了一段相当漫长的过程的，也许就是今后表征恒星特征的新信息还会逐渐增加，但是在古代对于各个恒星的许多特征并没有完全认识清楚。早期的天文学注意的恒星信息首先就是他们的方位，或者说表征恒星方位的两个坐标值。

描述恒星的方位，在数学上最方便的是采用球面坐标系。众所周知，在球面坐标系中有三个坐标量，即 $r$、$\theta$、$\varphi$。由于古代对宇宙的结构的认识处于蒙昧时期，认为恒星没有远近之分，全部都镶嵌在同一层天球的球壳上，所以就不注意表征恒星离太阳距离的一个坐标值 $r$，只注意另外表征方位的以角度表示的两个坐标值 $\theta$、$\varphi$。这两个坐标量是用与 $\theta$、$\varphi$ 稍为不同，但完全等价的赤经 $\alpha$、赤纬 $\delta$，或者是黄经 $\lambda$、黄纬 $\beta$ 来表述的。现代已经把天文学家这样的坐标量规范化为全球通用，而在中国古代则采取了“去极度，入宿度”。这与现代规范的坐标表示还存在着差异，当然这种差异也不影响他们的等价性。而中国古代天文学采用了与现代采用的赤经、赤纬等规范化的坐标不同形式的坐标量，正好说明中国古代天文学是本民族的独创。




早期对恒星信息的描述首先是表征恒星方位的恒星坐标值，严格地说有恒星坐标描述的表才能称真正的“恒星星表”，而恒星星表产生前一般地说应该有一个“恒星星录”的阶段。恒星星录只注意收罗恒星加以命名，有相对位置的定性描述，但没有任何量化的恒星坐标。由于恒星星录的研究价值不大，在西方天文学史的研究中很少加以回顾和评价。在西方，天文学史中号称为世界上第一本星表的是古希腊的《喜帕恰斯星表》，这本星表刊载了 1 025 颗恒星的坐标值，在这本星表前后是否出现过定性描述恒星星录，我们还没有从天文学史的文献中看到过。当然现在已经公认世界上第一本星表不是《喜帕恰斯星表》，而是中国的《石申星表》(但是个别专家对此尚持有异议)，《石申星表》的编制比《喜帕恰斯星表》要早 3 个世纪。

《石申星表》的问世，在中国开创了恒星方位天文学从《石申星表》到唐代开元

间著名天文学家一行组织恒星方位观测为止，大约经历了 11 个世纪，我们可以称之为中国的恒星方位天文的开创时期[①]。这个时期的特点是星录和星表的发展并存，而且星录的编制还占有主导的方面。譬如在石申星表以后两三个世纪，出现了司马迁的《天官书》，这是一篇迄今保存得最完善的恒星星录，虽然《天官书》中大量引用甘德、石申的星官，但也可以看出司马迁并非完全引用这两家的星官。尔后到三国时期的陈卓在公元 3 世纪又重新编制了“甘德，石申，巫咸三家星官”共包含 1 565颗恒星。关于陈卓的综合星录，后来于 1908 年在敦煌莫高窟中发现的一本手抄本(大约抄录于 621 年，即唐初武德四年)而得以窥其原貌。《石申星表》虽然原本已经湮没失传，但是唐《开元占经》的大量引证，说明《石申星表》在唐以前还在流传。

在中国古代传播恒星星录还有一种特殊的普及方法，就是以诗歌韵文等文学形式体现出来，三国时期陈卓的《玄象诗》，北魏张渊的《观象赋》，隋代李播的《天文大象赋》，一直到 7 世纪末王希明《丹元子步天歌》达到高峰。《丹元子步天歌》后来成为天文学家入门的必读书籍，这对古代天文知识的传播学习起了积极的作用。但是在本质上也是属于恒星星录的范畴。

恒星星录之所以近千年不衰，主要的原因应该与中国古代恒星方位天文学研究的目的有关，这个目的就是为占星术服务，而中国古代的占星术是与皇权权威联系在一起的，所谓“君权神授”、“天命所归”都需要天象来表达苍天的意志，其人文性质异常明显。当然中国古代恒星方位天文学的另一个目的是编制历书，在历书编制过程中定正朔也充满着政治意义。为了编制历书，星录就不够了，因此在《石申星表》以后的漫长历史过程中，也进行过若干用仪器的实测工作，其实测的对象不够广泛，实测的精度也没有明显的提高，因此《石申星表》以后约 11 个世纪没有产生过成卷的恒星星表，而大量是反映在完善恒星星录的工作中。



随着对历书要求的提高而进行的改历工作的需要，唐开元十二年至十三年(724—725)，著名的天文学家一行组织了大规模的恒星方位的实测工作，从而把我国恒星方位天文学推进了一个新的蓬勃发展时期，这个时期一直延续到元代郭守敬星表的诞生，大约经历了近 600 年，这一时期是我国恒星方位天文学发展的鼎盛时期。唐开元年间的一行、宋皇祐年间的周琮、宋崇宁年间的姚舜辅，一直到元代的郭守敬他们所做的系统的恒星方位观测，一直是当时的世界先进水平。这一时代中国的恒星方位天文学在世界上独领风骚。

这个时期的一个特点是把恒星方位天文学从为占星术服务为主转移到为编制

① 潘鼐:《中国恒星观测史》，学林出版社，1989 年。



精确的历书服务为主。虽然中国古代恒星方位天文学任何时候都是服务于这两个目的，两个目的具有同样的政治背景，而主次的转移却说明中国天文学的进步。因为占星术不是科学，它只是某个时期的文化现象，而且人文性质很重，因此使得天文学家拘泥于定性的星官描述上，科学价值不大。而历书编制固然也是为皇权权威服务，但它需要的是客观的太阳、月亮运行规律和数学方法的探索，它提出的是科学问题，因而它可以不断推进天文学的发展。

这个时期的另一个特点，是在于观测方法和观测仪器的不断更新。一行的恒星方位实测工作就是在梁令瓒木制黄道游仪的基础上，改进成用铜铁制成的新的黄道游仪的条件下完成的。

自从北宋至道元年(995)到南宋绍兴三十二年(1162)168 年间，共制作了 10 座大型的浑仪和两座机械钟，用这些仪器总共进行了 7 次大规模的恒星方位实测，以宋景祐年间、皇祐年间和元丰年间的三次周天恒星观测最为壮观。从而留下了著名的“杨惟德星表”、“周琮星表”和“苏州天文图”，这些在当时处于世界先进水平的恒星星表和星图。

到了元代郭守敬又把恒星方位学提升到一个新的高度。元至元十三年(1276)郭守敬受命担任授时历的编制任务，从而担负了修理原北宋留下的浑仪和新制天文仪器进行天文测量的工作。郭守敬等制造了著名的 13 件天文仪器，其中用于恒星方位测量的有简仪、浑仪、窥几、候极仪、立运仪和星晷等多种，并把实测结果绘制了一架天球仪。随着授时历于 1280 年完成，郭守敬的恒星观测资料也整理完成，这就是后世所称的“郭守敬星表”。遗憾的是这份宝贵的星表现在已经失传。从一行到郭守敬，是中国古代恒星方位天文学最为辉煌的时期。

明代以后，中国的天文学逐渐衰弱，到了明末具有科技知识的西方传教士来到中国，他们也带来了西方的天文学，这样中国的恒星方位天文学就进入了一个中西交融的时期，在这个时期里以编制《崇祯历书》为最重要的天文学成就。《崇祯历书》是在著名天文学家徐光启(1562—1633)领导下进行的，徐光启深受西方传教士影响，对于西方天文学有较深的了解，他提出的方案是“参用西法”，而实际结果是以西法为主。《崇祯历书》包括有一部恒星星历表，实际上就是一部恒星星表，于崇祯四年(1631)由徐光启第二次向皇帝进呈《崇祯历书》。崇祯元年(1628)通过实际观测而得到的恒星坐标，包括的恒星数在 1 350 颗以上。这份星表的重要特征在于它是一个包括南天恒星的全天星表，而且同时使用了黄道坐标和赤道坐标来表示恒星的位置。因此它实际上已经与西方的天文学接轨，不再存在中西天文学的差异。恒星坐标的精度已达$\pm 1'$，这就比郭守敬星表有了较大的提高。

西方天文学引进中国，并与中国传统天文学交融而最终完全取代，这是一个历




史事实，几乎是无法避免的。这一历史现象的发生牵涉着很多深层次经济、文化、政治的背景，但是就天文学而言，应该是一种进步。正如在中国汉唐盛世时，中国的传统天文学影响了日本、印度和某些西方国家一样，在全球范围内，人类作为一个整体，这种交融和相互影响也许今后还要不断地发生。

因明王朝的崩溃，《崇祯历书》没有被正式引用，但是《崇祯历书》的某些内容，在崇祯年间就已经分散地刊出过，自然"崇祯星表"也随之问世。迄后康熙年间的《灵台仪象志》的星表，和乾隆年间的《仪象考成》的星表是在西方天文学引进后，并由中国人自己和西方传教士一起组织观测而编制的星表，而《仪象考成续编》则完全是由中国人自己组织测算编成的星表。

辛亥革命以后孙中山先生于 1912 年发布了"改用阳历纪元令"，虽然民国政府还有官方的编历任务，但是，具有资产阶级民主主义思想的孙中山已经彻底与君权神授天命所归的封建思想决裂。这样，编制历书已经不再是具有浓厚政治色彩的军国大事，而仅仅是为了生活生产所需要的一种技术工作。而这一工作开始由深受西方天文学熏陶的高鲁主持[①]，从此中国的恒星方位天文学完全与西方天文学接轨，再也没有必要由中国人单独去编制星表。现代中国天文学所做的恒星星表工作也只能纳入全世界的协调工作之中，作为一个部分的贡献，这种贡献对于任何其他国家和民族都是一样的。

按照现代的天体测量学框架，确定天文常数是与恒星方位天文学并列的另一学科分支。所谓天文常数是指在宇宙中的天体或天体系统的几何尺寸大小和物理性能的定量描述值，譬如地球半径、地月距离、太阳半径等描述几何尺度的量，又如地球公转周期、行星公转周期、公转速度、岁差等描述运动特征的量。



天体测量开始诞生，就包含了确定天文常数的问题。譬如《新唐书·天文志》说："大率三百五十一里八十步，极差一度"，这实际上已经建立了子午线角度 1 度相应的距离的概念，也实际上是对地球半径这一天文常数值间接地提出了问题。当然当时对这个回答并不准确。

但是天文学家自觉地认识到确定天文常数是一个专门分支学科，还是在 20 世纪 30 年代以后。在此以前尽管天体测量工作者、历书天文工作者经常碰见天文常数问题，但是一直没有建立系统研究的概念。只是依靠某一位天文学家根据其研究问题的需要，自己去测定，或者引用别人的测定而确定某一个天文常数值。在大多数情况下是编制历书的需要。在中国是这样，在外国也是这样。譬如编制历书，首先遇到的就是回归年长度和朔望月长度的问题。这两个天文常数在中国古代叫

---

① 陈遵妫：《中国天文学史》第 4 卷，上海科学技术出版社，1989 年。



作“岁实”和“朔策”。当然在中国古代并没有意识到它们是两个天文常数。

客观世界到底有多少天文常数？或者退一步问，在太阳系内到底有多少天文常数？回答这个问题是颇为困难的。随着人类的视野扩充，随着人类对客观世界观察和研究的深化，天文常数在不断补充发展。譬如与银河系大小有关的哈勃常数，中国古代对这个常数一无所知。就这个意义上讲天体测量学中确定天文常数的问题是一个极富生命力的研究课题。人类认识宇宙是从近到远逐渐发展的，天文常数当然也是从近到远。在 20 世纪 30 年代，天文学家就太阳系内有关编制天文年历和星历表的需要曾经罗列了 40 多个天文常数，而在 20 世纪初美国著名天文学家纽康(Newcomb)只罗列了 14 个天文常数。中国古代天文学家自然不能全面地系统地提出天文常数问题，但不容置疑，具有三千年历史的中国天文学必然对某些有关的天文常数作出过卓越的贡献。本篇就是从中国古代编历工作中和早期宇宙结构模型的建立工作中提炼出他们的成果。从回归年长度开始，继而黄赤交角、近日点进动、行星公转周期、岁差，等等，凡中国古代天文学家作过贡献的天文常数都是本书研究的内容。从全局来看，这些常数仍然只是天文常数的一部分，只是局部性的。但是作为一个民族的科学史自然只能叙述这个民族作过贡献的内容，从这个观点出发，包含内容的局部性则是非常自然的事情。

另一方面按照现代天体测量学的分支框架，应用天文学同样也是一个非常重要的分支，而现代的应用天文学习惯上是指围绕地理经纬度测定的天文大地测量学，高精度授时，应用星表的编算工作。在中国早期曾经有航海天文学的萌芽，例如《淮南子·齐俗训》就描述过：“夫乘舟而惑者不知东西，见斗极则悟矣。”这是以北极星的方向作为指示方向的依据，应该说这已经是初步的航海天文学了，但是长期并没有重大发展，一直到了明代郑和下西洋的伟大航海创举前后，才有《自宝船厂开船从龙江关出海直抵外国诸番国》(此书后人简称为《郑和航海图》)和《顺风相送》两本书出版，应该说郑和的航海天文学在 16 世纪是世界先进水平。

从严格意义上讲，历书天文学也应该是广义上的应用天文学，由于中国古代历书天文学内容特别丰富，故“大系”设有专门分卷。但是作为完全进入历书编算以前的观象授时，作为天体测量学早期萌芽在本书一开始就进行了专门的分析研究。




# 第二章　中国古代天体测量的萌芽

我们已经指出，早期科学的发生没有像后来的分支学科那样的框架。天文学也不例外。当然，在研究天文学起源时，从来没有学者按分支学科去提出过这样的问题，也就是说，虽然出现了很多关于中国古代天文学起源的专著和论文，但是还没有见到专指中国古代天体测量学起源这一类的研究。然而，考察作为稍为限定了范围的天体测量学的萌芽和起源时，必然可以找到它的初期痕迹，因此，必须在限定的范围内，追溯与天体测量发展有直接关系的内容。

当我们宏观地考察神话、传说、考古遗存以及后代文献追记等等以后，可以发现，所谓萌芽中的中国天文学，实质上包含两个方面的内容；其一是宇宙论，这方面的内容可以说是最古老、最丰富的，例如盘古开天地、女娲炼石补天、羿射九日，等等。不过这方面的内容不可能与后来的天体测量学联系在一起。其二是能够与后来天体测量学联系在一起的内容，就是在历书天文学出现以前的观象授时，以及与占星术联系在一起的"观天象、示吉凶"这两个部分。

占星术不是科学，它是人类文明发展的某一特定阶段的文化现象。它可以引导古代天文学家积极地去观察和描述天象，但是它需要的只是对天象的粗浅观察和模糊的解释，它在主观上并不想推动天体测量的精确化，它的兴趣则是引用古人的占辞去牵强附会地与现实生活联系，它的重点则是在于建立解释某些天象的神秘技巧。



观象授时则完全是一门科学，它是由人类与大自然斗争的需要而发展起来的。由于它最终要受到地球绕日公转的客观运动的实践检验，而且最后的发展又与历书天文学相衔接，并最终为历书天文学所取代，因此观象授时的发展实际上促进了观察天象和编算历书这两门科学分支的发生与发展。这两项内容又必然会推动实践的检验，也就是必然地推进了观察天象的精细化和数学表述的准确化，这就客观上为后来的天体测量学和历书天文学的发展做了准备。

观象授时跨越的整个历史时期，以及观象授时与推步历书并存的过渡时期，其中所涉及对日、月、行星和恒星的观察，对其方位和运动的测量，当然就是后来天体测量学的萌芽，从这个意义上讲，一直延续到秦汉之交，都可以看作这个阶段所跨越的漫长历史时期。



## 第一节　考古遗存的信息

距今约300万年以前，地球上出现了人类，即所谓智人，不论他们是处于类人猿阶段还是发展到今天的现代人，都要为自身的繁衍和生存展开与大自然的搏斗，考古学者把进入农牧生产以前的漫长时期称为旧石器阶段，这个时期的生产方式是以采集和渔猎为主，这个时期的人类是本能地、无知地向大自然索取，形成了那个时代的"攫取经济"，这时的人们是"日出而作，日没而息"，过着茹毛饮血的生活。但是他们能够感知道"昼夜交替"、"寒来暑往"。在自觉地或不自觉地发现了太阳、月亮和恒星东升西落的现象后不久，他们也发现了太阳和月亮在恒星背景上有移动，并且有周年性的重复规律，而这个重复的呈周年变化的规律与"寒来暑往"是有联系的。这就开始了观象授时的时期，虽然观象是不准确的，授时也是粗略的，但毕竟这个时代已经开始。

古代的人们群居的草原用尽了，河流干涸了，自然要进行迁移，很自然他们要确定向哪个方向迁移。在迁移中，古人逐渐认识到把地面上固定的目标与恒星方位联系在一起的必要性。尽管这样，早期阶段的人类，对某些天象的感知，还不能立即形成科学的天文学。在旧石器时代的晚期，我们可从他们居住过的洞穴和洞穴附近活动的场所残留的原始壁画中，看出原始人类对方位所具有的初步知识。

1979年，在江苏省连云港市西南9 000米海州区锦屏山靠海处，名叫将军崖的小山包上，发现了一处岩刻（图2－1）。此岩刻以鸟兽纹和星象图为主，岩刻的分布显然是有意安排的，星象和鬼面的两组刻在向南的一边，人像面一组刻在向西的一边，有太阳、月亮、星星、云彩，其中非常有趣的是，有一条长6.2米的带状图形，很像银河的图案。还夹杂着许多点和圆形环、同心圆等①。据当地人介绍，与岩刻略呈等距离的地方，有一块大石头和两块小石头，搭成平台的样子。1957年三块石头中的一块被人推下去了，还有两块至今犹存。这很可能是先民们祭祀的圣地，而岩刻的天象则给我们保存了一份古代天象观察的记录。虽然这个记录非常粗略，但就其记录本质来说，与现代记录的价值应该是同一性质的。





除将军崖岩刻外，在我国西南的少数民族地区同样发现过刻有天象的岩刻和壁画。

这种原始的祭祀，必然含有大量的巫术，巫术一方面直接导致宗教，另一方面也导致科学。原始人把可以用经验观察和处理的现象，与他们所无法理解或控制

---

① 陈兆复：《中国岩画发展史》，上海人民出版社，1991年。



图 2—1　将军崖岩刻图

的、神秘的、不可估计的变化明确地区别开来，前者引向科学，后者导致巫术、祭祀和神话。所以在中国古代天文学的观象授时，就难免不是科学和星占混合在一起。丹皮尔说得好，"科学并不是在一片广阔而有益于健康的草原——愚昧的草原上发芽成长的，而是在一片有害的丛林——巫术和迷信的丛林中发芽成长的"。[①]





中国的新石器时代约开始于 11 000 年以前，结束于 4 000 年前后。新石器时代的早中期是母系氏族公社的繁荣时期，中期的后一阶段是母系氏族公社向父系氏族公社过渡的时期。新石器时代出现了农业。原始农业的初期是所谓"象耕鸟耘"的方式，唐代陆龟蒙在其《象耕鸟耘辩》一文中说：[②]

> 象耕鸟耘之说，吾得之于农家，请试辨之，吾观耕者，行端而徐，起拔欲深，兽行之魁者，无出于象，行必端，覆必深，法其端深，故曰象耕，去莠。举手务疾而晚，鸟之啄食，务疾而畏夺，法其疾畏，故曰鸟耘。

传说中的象田、鸟田约在舜禹时代，因为那时的农业生产不可能深耕细作，即

① 丹皮尔，著：《科学史及其与哲学和宗教的关系》，李珩，译，商务印书馆，1994 年。

② 陆龟蒙：《甫里先生文集》卷一九，《四部丛书》本；《自然科学史研究》，1990 年，第 9 卷，第 1 期。



便使用工具，也只能是简单地松土。大约到了铁器时代，就进入了“刀耕火种”的农业生产方式，不管是远古的“象耕鸟耘”，还是稍后一些的“刀耕火种”，其共同的一点是要把种子撒播到田间。这样四季变化的知识，则是农业生产所必须具备的，于是“敬授民时”的任务，也就随之而向高一层次的需要发展。只有认识到季节的规律，才能够适时播种，否则是不能得到收成的。

对季节的认识，当然要经过一个漫长的过程，只有从长时期的天象、物候观察的感性认识积累经验而逐步完成。一直到初步掌握太阳在恒星背景上的运行规律，才使这种授时工作踏上了科学的门槛。

另一方面，从我们已经发掘的墓葬分析，在新石器时代已经有了方向的概念，从西安半坡、临潼姜寨、泰安大汶口、邳县刘林大墩子以及南京北阴阳营等六处新石器时代墓葬资料来看，当时已经有了以日落定西方，以日出定东方的概念。

以日出方向确定死者的头向东进行安葬，根据卢央、邵望平的研究，已经有与东西方向大体垂直的方向，这就确定了南北。这正好说明古代天文学家已经有观察天体周日运动的知识，虽然他们并没有悟出地球绕轴自转的客观运动，但是他们还是对这种运动的结果作了充分的观察和利用。

## 第二节　《尧典》四仲中星

在《尚书·尧典》中，有一段众所周知的典型的观象授时的记载：

> 乃命羲和，钦若昊天。历象日月星辰。敬授人时。分命羲仲，宅嵎夷，日旸谷。寅宾出日，平秩东作，日中星鸟以殷仲春。……申命羲叔，宅南交，平秩南讹，敬致。日永星火，以正仲夏……分命和仲，宅西曰昧谷，寅饯纳日，平秩西成。宵中星虚以殷仲秋……申命和叔，宅朔方，曰幽都，平在朔易，日短星昴，以正仲冬。……期三百六旬有六日，以闰月定四时成岁。

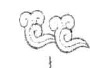
这一段记载与全世界各古老文明民族的观象授时工作相比的确是非常珍贵的资料。它很自然地不断引起古今中外天文学家的兴趣。

对于这一段记录，大约围绕着下列三个方面进行了研究，有的结果是一致的，有的结果很不一致。

(1)关于这一段记录形成的年代和记录所指示的年代问题。

(2)关于这一段记录的四“颗”恒星与现代所确定的恒星对应问题，有人还指出到底是四颗星还是指的四个星宿。

(3)关于这段记录所反映的中国古代天文学家已掌握的天文观察方法问题。

我们知道,虽然相传《尚书》是由孔子汇编的上古事迹的追记,但是有若干篇并非有关时代的原著,其中《尧典》《禹贡》《洪范》等均为后人补充进去的著作,即所谓托古之作。当然,就是托古之作,也并不能完全否定其价值,因为任何民族在发明文字以前,都必然经历过相当长的一段口传身授的时期,对于远古的事件通过祖辈相传才得保留下来,所以托古之作越发生得早,对于相隔如此久远的今人而言,它越是一篇有价值的记录,反映出一定的真实性。由于它所反映的事实又是唯一的记录,那么这种托古之作仍然是宝贵的。我们没有任务来评价《尚书》的各个篇章的价值,因为有的托古之作可能完全无中生有,为后世造成混乱,有的托古之作却反映了一定的历史真实。我们可以就《尧典》的这一段记载来分析它的价值。

根据目前对鸟、火、虚、昴四颗恒星(或者星宿)的基本认定,本记载的天象在东周以后是不可能发生的,而东晋虞喜以前的学者也并没有岁差的知识,因此他们也没有能力向前推定,所以当代学者们普遍认为本记载的天象应该是帝尧时代或最晚到西周初年的天象实录,而经过口授身传保留到后代,而为后人付诸文字记录。

日本学者能田忠亮从《月令》推算,确定四仲中星的观测年代是公元前2000年前后[①]。

日本另一学者新城新藏则假定它为公元前2500年[②]。

耶稣会传教士宋君荣(Antoine Gaubil)则确定这个天象发生在公元前2476年[③]。

中国学者竺可桢在1926年发表文章认为,星昴是尧时的天象,即发生在公元前2000年以前,而星鸟、星火、星虚的天象则发生在公元前1000年以前[④]。

中国晚一些的学者龚惠人在1978年给出了一个研究结果,认为在假定黄昏$18^h$进行观测的情况下,可以推定其观察时期是公元前2000年前后,而四仲中星的起源和观测地点应该和二十八宿的形成联系起来考虑[⑤]。





陈遵妫指出,由于人们多相信帝尧时期是在公元前2000多年,总的研究都试图与这个认定相合,从唐代以来的一千多年,众说纷纭,也多由于对这一段记录的理解颇不一致,因此,这个问题还有深入研究的必要。

其实,这一段记录的重要问题是弄清四仲中星(鸟、火、虚、昴)到底是哪四颗星,或者是哪四个星宿。这个问题和实测年代是相关联的。记录本身并不能回答

① 能田忠亮:《尧典た見えたる天文》,東方學報,1937年,第8卷。
② 新城新藏:《中国上古天文》,沈璿,译,商务印书馆,1936年。
③ 陈遵妫:《中国天文学史》,上海人民出版社,1989年。
④ 竺可桢:《论以岁差定尚书尧典四仲中星之年代》,科学Ⅱ,1926年。
⑤ 龚惠人:《尧典四仲中星起源年代与地点》,中国天文学会第三次代表大会论文,上海,1978年。



这个问题，因为古代不可能有现代的、具有恒星方位坐标值的恒星星表。记录中也没有对四“颗”星周围的情况细致地描述过，因此这个问题只能从其他的文献中来认证。

关于火、鸟、虚、昴四星（或者四星宿）是指现在天空的什么对应体，从唐代著名的天文学家一行起，不断受到天文学家的关注，已经有一千多年的研究历史。他们研究的特点是并没有真正去指明这些星的坐标值，而是确信这一段记录是帝尧时代的实录，从而以不同的岁差常数值来论证帝尧的年代，也就是说一行、何承天、祖冲之、张胄元、郭守敬这些古代的杰出天文学家们都没有回答这篇记录的天文学含义的要害问题。

到了近代耶稣会传教士宋君荣、日本天文学家能田忠亮、新城新藏，我国著名学者竺可桢、陈遵妫等也是从年代学角度来提出问题，而关于四星的现代对应体问题的认定，似乎没有严格论证过。因此各家对此四星的对应体就有一定的差异，兹转录如下。

宋君荣认定星、火、虚、昴对应于星宿、房宿、虚宿、昴宿，也就是它们不是四颗星而是四个星宿。

陈遵妫认定，对应于张宿、心宿、虚宿和昴宿。

郭盛炽认定，对应于星宿一、心宿二、虚宿一和昴星团，也就是认为有三颗是恒星，另一个是星团①。

《中国天文学简史》的作者认定为星宿一、心宿二（即大火）、虚宿一和昴宿一。

中国天文学史整理研究小组的作者认定为星宿、房宿、危宿、昴宿②，他们和宋君荣的认定基本一致。

其实这四颗星（或星宿）认定的确切性是很有差别的。

星虚和星昴的认定各家趋于一致，原因可能是名称的连续性较好，经过几千年没有变化，就是个别作者认定为昴宿一，或者是昴星团，它们基本上与昴宿一致。因为古代没有精确地测角定位仪器，恒星的方向确定误差颇大，认定是一个星宿或是一颗星并没有什么实质差别，何况认定一个星宿还是需要取它的距星作为代表，这两个星宿名称连续一致性，表现在从《夏小正》《尧典》《月令》《淮南子・时则训》《诗经》及甘氏和石氏的星官体系，一直到《史记・天官书》都连续使用了“虚宿”和“昴宿”的名称，没有改变过，也没有出现异名，因而这个星宿在现代天空的对应体或者对应星区不会混淆不清。

至于“日永星火”的“火星”是哪一颗星，现在通过比较得出公认，是指“心宿二”





---

① 郭盛炽：《中国古代的计时科学》，科学出版社，1988年。

② 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981年。

或者西名为天蝎座α星或名叫Antares,它的中国古代名称为“大火”,它不是现今所说的大行星火星而是一个较亮的恒星。而且“日永星火”很明显的是指这一颗星而不是一个星宿,不过由于前述的原因,就是当时没有精确地测定恒星方位仪器的情况下,认定一颗星和认定包括周围恒星所组成的星宿,对于我们的研究并无差别。“大火”之所以能够认定,也是该星星名存在的连续性,在殷墟甲骨卜辞中有“新大星并火”,在《夏小正》中有“五月初昏大火中”,《诗经》中有“七月流火”,《礼记·月令》中有“季夏昏火中”,《吕氏春秋·十二纪》中有“季夏昏心中”,等等,这不会在某个时期误会成另外一个恒星。用星火作为标志来授时可以从《左传》襄公九年中有“陶唐氏之火正阏伯居商丘,祀大火,而火纪时焉”得到证明,换言之用星火(或大火)来授时可以是独立的方法,并非一定要与四仲中星连在一起,这里和世界上其他古代文明的创造有惊人的相似性,即古代埃及人使用天狼星(大犬座α星)早晨出于东方,预报尼罗河泛滥,实际上是确定夏至日的到来。古代巴比伦人用五车二(御夫座α星)早晨出来的日子作为年首。这种古代民族创造的相似性,一点也不奇怪,因为文化形成的早期,各个民族面对着的是同样的自然现象,而且各民族的文化也是朴素的原始的,都在同样的起点上,选用一颗亮星作为授时的标志,最为简单和最容易理解,于是古代埃及人、巴比伦人、中国人产生了同一思维,这很合乎情理。

在四仲中星的记录中,“日中星鸟”的鸟星最不容易找到天空对应体。因为在四仲中星中出现了鸟星,在殷墟甲骨文中有好几处出现了鸟星,而在《夏小正》中就没有出现鸟星记载,在甘氏、石氏恒星体系和二十八宿中也没有鸟星或鸟宿的名称。是什么时代,用什么名称取代了鸟星,难于查考。陈遵妫按虚、昴、火三个星宿的认定,推论出鸟星应该在南方七宿之中,而且南方七宿又称为朱雀,因而按鹑首、鹑火、鹑尾三个星次看,应该是中央的鹑火代表星鸟,从而认定是张宿[1]。至于认定鸟星是“星宿”的学者们,几乎也是按距昴宿和心宿东西方向各90°的星区来推断。这些推断是否符合当时的实际,很难确定。应该说真正的鸟星对应于哪个恒星(或星宿)尚缺乏直接的客观证据。我们姑且认同多数学者的意见,认定它为“星”宿。

因为现代的岁差理论非常完善,已经完全解开了古代一些著名天文学家(如一行、祖冲之、何承天、郭守敬等)的疑团,我们有可能把四仲中星的对应星宿距星的赤经重新精确计算(如表2—1),其中心宿的距星尽管在天蝎座α星和π星间有争议,但因“大火”的对应体比较明确,我们在计算中取为天蝎座α星。



---

① 陈遵妫:《中国天文学史》,上海人民出版社,1989年。



**表 2—1　四仲中星的赤经表**

| 年　代 | 星宿一（长蛇座 α） | 心宿二（天蝎座 α） | 虚宿一（宝瓶座 β） | 昴宿一（金牛座 17） |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 前 500 | 110°.8 | 211°.1 | 289°.0 | 21°.3 |
| 前 1000 | 104°.6 | 204°.5 | 282°.0 | 14°.8 |
| 前 1500 | 98°.2 | 198°.0 | 274°.8 | 8°.5 |
| 前 2000 | 91°.9 | 191°.6 | 268°.0 | 2°.1 |
| 前 2500 | 85°.6 | 185°.2 | 260°.8 | 355°.8 |
| 前 3000 | 79°.3 | 179°.0 | 254°.1 | 349°.7 |

用简单的线性内插法，可以求得：

星宿一的赤经为 90°时，相应为公元前 2151 年；

心宿二的赤经为 180°时，相应为公元前 2125 年；

虚宿一的赤经为 270°时，相应为公元前 1853 年；

昴宿一的赤经为 0°时，相应为公元前 2166 年。

这一组计算提示我们，由后人追记的《尧典》四仲中星可能并不是一组相关联的观察方法，按现代说法可能不属于一个观测纲要，而是由至少两种观象授时方法拼合在一起，而后人缺乏天文知识，来了个兼容并包。原文对称华丽，但并不是天文学的事实，从而给后人带来一团迷雾。如果考虑到观察的精度不够，而且特别是观测时刻“昏”与“旦”的不确定性（最大的差异可达 2h），所以我们可以勉强地假定，它们属于同一观测纲要，那么取四个星宿在分至点的交会年代可以定为公元前 2000 年左右，已经没有办法让它再精细了，而这个结果与前面多数学者考证的年代学结果基本一致。

其实这种推算结果很不牢靠，因为正如前面所说星宿对应体本身其确定性很不够。还有一个非常值得推敲的问题，那就是四仲中星的观测方法问题。

研究年代学的学者几乎一致认为，采用的“昏中星法”，即在黄昏时刻（太阳落山），观察四仲中星的某一星在正南方向（即中天）。这个主要的依据是《礼记·月令》中有“季夏火中”，《吕氏春秋·十二纪》中有“季夏昏心中”的记载，认定中国古代天文学家通常采用在黄昏时观察亮星南中天的方法，但是尧典的这一段记录并没有给出任何说明它用的是“昏中星法”，如果是旦中星法呢？如果是昏或旦来观察亮星出地平线初见呢（正如古埃及人观察天狼星的办法）？这样年代学的结果就必然要大相径庭，迄今尚未见专门的论文作这种思考，这是因为对帝尧的年代大约在公元前 2000 多年的说法有很多其他的历史学和考古学依据，如果产生一个相差数千年的结论，自然会引起学术界惊讶不解，但是从严格的记录原文以及天文观察方法的讨论来看，这里的逻辑漏洞确实存在，假定鸟、火、虚、昴四星的观察不是中

天而是在西方地平线上观察，这样得到的年代就相差 5 600 年。如假定不是大昏时刻，而是初昏刚见到亮星时刻来进行观察，以此来确定帝尧的时代就不是约公元前 2000 年而是在公元前 5000 年。当然这种结论和大量的历史学及考古学结论相矛盾，自然不足为据，但这说明仅仅从天文学上用四仲中星记录来解决帝尧的年代问题，看来是困难很多，难予克服。

那么四仲中星显示的天文学价值是什么呢？

第一，它告诉我们，中国的观象授时在帝尧时代已经由国家的专门机构来担任，当然个别杰出的天文学家率先掌握的这种知识还会更早。由国家专门机构正式进行观象授时应该说是天文学应用上的一大进步。

第二，在帝尧时代已经掌握了昼夜相等的春分和秋分，即“日中”与“宵中”，也掌握了昼长夜短的夏至即“日永”和昼短夜长的冬至即“日短”，对两分两至的掌握应该是那时候天文学的重大发现，这和后来的二十四节气的创造有密切的渊源关系，而且显示那个时候已经有了粗略的守时仪器。

第三，不管是观察恒星中天，还是观察恒星从东方地平线升起或西方地平线下落，这都是天文学的方位和高度的测量，自然毫不夸张地说天体测量学作为一门科学已经在我们这块沃土上孕育出来。

## 第三节 《夏小正》星象

《夏小正》是我国古代最早的一本历书，其成书年代可能在战国时期，但无疑它是夏代纪日制度的追记，其原文早已散失，留下来的篇章已非全貌，现存的文献仅仅是《大戴礼记 · 夏小正传》，它只能反映《夏小正》的梗概，即便如此，它也给出了夏代观察天象的宝贵信息。



我们说《夏小正》是一部历书，但它并不是后来人们所熟知的在掌握天象的某些规律后利用计算方法得到的推步历书，而是一部典型的与物候历并存的观象授时历书。

很多学者从历法角度对《夏小正》进行了十分有意义的研究，譬如陈久金、卢央等在其专著《彝族天文学史》中，就对《夏小正》做出了非常出色的研究，得出《夏小正》是一部太阳历，而不像过去很多学者认为的是阴阳历。又得出《夏小正》是一部十月历，即 1 年分成 10 个月而不是分成 12 个月。[①] 这种新的结论引起了天文史界的极大兴趣，得到了不少学者的认同。但是我们的任务则是从天体测量的角度来

---

① 陈久金，卢央，刘尧汉：《彝族天文学史》，云南人民出版社，1984 年。



考察它的成就，很少考察它的历书方面的问题(除去讨论星象及其观察方法必须涉及的内容以外)。

《夏小正》所记录的天象是：

正月，鞠则见，初昏参中，斗柄悬在下。

二月，

三月，参则伏。

四月，昴则见，初昏，南门正。

五月，参则见，初昏大火中。

六月，初昏，斗柄正在上。

七月，汉案尸，初昏织女正东乡，斗柄悬在下，则旦。

八月，辰则伏，参中则旦。

九月，内火，辰系于日。

十月，初昏，南门见，织女正北乡则旦。

十一月，日冬至，阳气至，始动。

十二月。

在记录中，包含9个恒星、星宿、星组，即“鞠”、“参”、“昴”、“大火(或内火)”、“辰”、“南门”、“织女”、“北斗七星”、“汉”的记载。为了深入研究，首先就必须将它们所对应的现代认识的天体加以分析和认定，从而才能进一步讨论记录中所描述的天象及其变化。

**鞠**：在记录中仅出现一次。它指的是哪颗星或者哪个星宿迄今还弄不清楚。清代学者戴震认定“鞠”为柳星宿，但是记录中的“鞠则见”，按《夏小正》的体例中应该是“旦见东方”，要“旦见东方”则“鞠”应该在太阳的西方，就是太阳还没有从东方出地平线的时候，“鞠”先从东方升起，可是柳宿在参宿东方45度，如果正月初昏出现在东南天空，就绝不能“旦见东方”。因为在正月，太阳在室宿1度余，则鞠至少要在室宿以西15度以上的位置，才能有正月的“鞠则见”的天象。所以戴震的认定受到很多学者的反驳，从而各家学者得出了互不相同的认定。概括起来有：①鞠是虚宿中的匏瓜五星；②鞠是危宿上的天钩九星；③鞠是在危宿之东、虚宿之北的司录两星；④鞠是危宿附近的天钱十星；⑤鞠是南方朱乌三次的统称；等等。1982年陈久金、卢央等在其《彝族天文学史》专著中认为上述各家认定，均显根据不够，他们认为鞠星应该是夏代改岁之星，当然是一颗重要的星，由于某种原因它的名称被人们遗忘了，新的名称也没有与它作长时期的衔接，而对这样重要的星，按理应该是一颗亮星，因之经过分析认定“鞠”应该是轩辕十四，即狮子座α星，它是一等亮星。这个认证在天文科学内容上和人文学的社会背景上都具有较好的说服力。但

是这个认定还需要独立的旁证。在“鞠”尚未能公认的情况下“鞠则见”这一天象就很难确定，在没有完全弄清楚“鞠”到底是哪一个对应体的情况前，要得出有价值的研究结论是困难的。

**参**：按照这个名称的连续性，很自然它是指二十八宿中西方白虎七宿的参宿，参宿的距星是参宿三，很明确它现代的对应体是猎户座 δ 星，对于这个认定，迄今没有产生疑议，参宿共包括七颗星，石氏星经描述其形状是“两肩双足三为心”，均在猎户星座，并且皆为亮星，而作为距星的参宿三却不是最亮的一颗，由于参宿灿烂美丽，一直为人们所关注，这也是不会弄错的原因之一。

**昴**：同样按照这个名称的连续性，它是二十八宿中西方白虎七宿中央的一个星宿，它的特征是一个星团，用肉眼可以看到七颗星，俗称七姊妹星团，属于金牛座，它的距星是昴宿一，即金牛座 17 星，这里没有任何疑议。

**大火**：这是一颗亮星，即心宿二，即天蝎座 α 星，在前一节讨论《尧典》四仲中星时，已经对它进行了讨论。

**辰**：辰在中国古代天文学中是一个多义的名称，至今各种说法不同，难予定论。陈遵妫认定，在观象授时的时代，选取一定的星象，作为分辨一年四季的标志，这些星象都可以称为“辰”。所以在中国古代天文学中“辰”字还有参、大火、北斗等意义，所以有“大火为大辰，伐为大辰，北辰亦为大辰”(《公羊传》昭公十七年)，又有“岁时，日、月、星、辰之谓辰，故以配日”，等等。但是值得注意的是在这里同一记录中已经出现了“大火”、“参”、“斗”等名称后，又出现“辰”，这就说明在《夏小正》记录中，辰有另外特指的涵义。陈久金和卢央认定在这里辰为苍龙，也即是指房、心、尾三个星宿，他们是根据历书的月份来认定的。但是要明确地确定“辰”在这里的对应天体，应该说尚未得出一致的结论。



**南门**：据《大衍历议》称，它是指库楼南面的南门，库楼在角宿的南方，所以南门是隔着库楼而在角宿的南方，它是两颗星，现名为半人马座 α 星和 ε 星。而《史记·天官书》有“亢为疏庙，其南北两大星曰南门”，《蔡氏月令》说“南门二星属角宿，库楼上”。于是有人根据这两段记录解释南门为角宿和亢宿。陈久金、卢央等从历书角度分析认为上述说法不妥，他们根据《晋书·天文志》有“东井八星，天之南门”，因之他们认为南门应释为二十八宿中南宫朱雀的井宿，按现代名称是双子星座，井宿的八颗星的中间四颗分别是双子星座的 γ、μ、ε、ζ 星。可见南门所指的对应天体，至今未得到一致的结论。

**织女**：在现代织女星指的是一颗亮星，即天琴座 α 星，但在中国古代天文学中织女则是指三颗星，即织女一、织女二和织女三，它们分别是天琴座 α、ε 和 ζ 星。即所谓“织女三星在汉旁，汉案户则织女在东”和“织女三星在天河北，一巨二细若



鼎呈”。这种认定没有争议。

**北斗七星**：这就是众所熟知的、著名的大北斗，它包括天枢、天璇、天玑、天权、玉衡、开阳、摇光七颗星，其斗柄则是指玉衡、开阳、摇光三颗星的连线，这个连线在中国古代观象授时中特别重要。这三颗星的现代名称是大熊星座 $\varepsilon$、$\zeta$ 和 $\eta$ 星。把斗柄指向用于授时是中国古代观象授时的独创。

**汉**：在《夏小正》保留的文字中就有明确的解释，即“汉也者，河也”。这里指的是天河，即银河。

观察上述星宿，或者恒星，或者恒星组合的方位的变化天象及其观察方法，在《夏小正》的记载中共有 13 条，它们可以概括成两类。

第一类，直接观察上述天体相对于太阳的特殊方位。其中有“初昏参中”，“初昏大火中”，“初昏南门见”，“参则伏”，“昴则见”，“辰系于日”共六条。“中”是指天体在子午线上，即中天。“见”就比较复杂，它可能是黄昏时刻天体在东边升起，即此时离太阳的赤经差约$(180+15)^\circ$，也可能是黄昏时，太阳落入地平线下以后，天空昏暗，才能够在西方看见该天体，然后不久随太阳落入地平线。而此时该天体与太阳的赤经差则约为 $15^\circ$左右。如果这两种情况在记录中没有说清楚，自然后人在理解不同的情况下去研究，就会导出分歧很大的结论。如果用不同的理解去推算观测时期的年代，则可以相差万余年。更何况“昏”的具体时刻也不明确，在一年之中同一地点冬至日和夏至日的“昏”可以差 1～2 个小时，如果随意假定观测时刻也会导致 1 000～2 000 年的年代错误。“伏”和“系于日”则表示该天体与太阳赤经相近，至少要小于 $15^\circ$，因为太阳的光芒照亮了天空，该天体不能得见，太阳落山后天空昏暗，该天体也随太阳落入地平线下，即该天体“伏”而不为观察者所见。

应该指出这些观察记录的描述，说明在夏代人们是以肉眼观察为主，还没有测角的仪器。就是“中”，在定义上很精确指的南中天，但观察则不可能精确。

第二类，观察若干恒星所构成的几何图案的方向变化。在《夏小正》记录中有“斗柄悬在下”，“初昏南门正”，“初昏斗柄正”，“初昏织女正东乡”，“斗柄悬在下则旦”，“织女正北乡”，“汉案户”共 7 处。

其中斗柄指向是最著名的，也是最常用的，即所谓“斗建”，这个天象在后面还要详细地论及。另外“正东乡”，“正北乡”在实质上与“斗建”的方法思路上有共同之处。织女三颗星，“织女二”和“织女三”好像向东或者向北对“织女一”开一个口子，换言之是以“织女一”对“织女二”和“织女三”的连线做一垂线，而此垂线指向东，则为正东乡，指向北，则为正北乡，这在球面地平坐标系中，只有“织女二”与“织女三”的连线与地平面相垂直时才能发生。所以这和斗柄指向是一类的方法。至于“南门正”的记录，陈久金等认为是原书脱简，漏掉了字，应该是南门正西乡，这里




他们根据《夏小正》作为历书来研究，得出的推断。但是有人把“正”解释为上中天，我们认为可能不妥，因为在同一记录中已经用“中”描述上中天，没有什么原因需要把同一天象用不同的名词来表达。至于“案户”在《夏小正》中就有解释，“案户也者，直户也，言正南北也”。

用几何连线方向，或者连线的垂线方向来描绘天象，在没有测角的天体测量仪器之前比直接确定一个点的方位要精确些，因为它实际在空间选用了三个点来定位，这一创造是中国古代天文学家聪明才智的表现，这也是后来“斗建”得以长期被应用的原因。当然后来测角仪器的发明，则自然地取代了这种方法。

很多学者对《夏小正》进行过研究，绝大多数从历法角度进行，从而就自然要提出该书表述的天象实测年代问题，而我们在分析了上述某些天体的不确定性，观察时刻不确定性，观察描述的不确定性以后，认为就《夏小正》记录自身来论证《夏小正》天象的实测年代，与用“四仲中星”本身来论证尧典的实测年代一样，可能是非常困难的。当然学者的研究会加深对这个宝贵文献的理解，导出必要的信息，但要确定年代则需要新的考古发现。

但是《夏小正》保留下来我国观象授时时期的观察方法和观察的对象，揭示了我国天体测量学的起步和发展过程。

## 第四节 斗 建

北斗所指，谓之斗建。按照《史记・历书》“集解”所作的解释是：“北斗七星在天空中所指，建十二个月。”



事实上，北斗七星在天球上排成了一个几何图案。由于自行引起各种恒星方位的不同程度的变化，因此随着年代的迁移，恒星相互间的相对方位有所变化，从而使这个几何图案会略略有些改变(图 2－2)。这个变化非常小，以至于在几千年内这个图案的大致模样却不会有多大的改变。因为地球存在着绕轴的自转运动，旋转一周为一个恒星日，表现为所谓的紫微居中，众星拱之的现象。地球自转的结果，反映为恒星的周日视运动，虽然在一个恒星日内，恒星间相互位置不变，几何图案也不变，而这个图案的方向却在不断地变化，经过一个恒星日，其方向刚好改变 360°。

假如天空中没有光芒耀眼的太阳，在地球表面的人们，在一个恒星日内，会连续观察到斗柄所指的方向沿着地平面，自东向西逐渐变化，一个恒星日后，又回到原来的方向上。这就是纯粹的地球自西向东自转的结果。

但是事实上天空中存在一个太阳，并且它发出耀眼的光芒，而地球还绕着太阳公转，一年绕日公转一周，于是太阳在天球上的视运动，与恒星不一样，太阳的视运



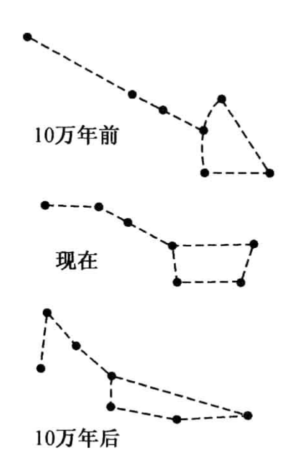



图 2—2 北斗七星由于自行引起的状态变化

动是地球自转和地球公转两种运动的综合结果。如果以太阳为标志来计算，则取太阳两次中天的时间间隔为一个太阳日。太阳日和恒星日的日长相差 3 分 56 秒，那么太阳时刻与恒星时刻在第一次校准后，每天以 3 分 56 秒的差，逐日积累，于是在经过一年后，两者时刻之差正好是一天(即 365×3 分 56 秒)，这样一年内虽然包含 365 个太阳日，而却包含有 366 个恒星日(在讨论这个问题的概念时，我们可以忽略平太阳日和真太阳日的差异)。

由于天空中太阳的耀眼光芒，人们只能在背太阳一面的地球表面(即夜晚)才能观察到北斗，所以北斗几何图案方向在一个恒星日内的变化，并不能为我们连续地观察到，好在太阳有周年视运动，亦即它在恒星背景下有周年运动，于是我们虽然不能在一个恒星日内观察到北斗斗柄指向的连续变化，但是能够在不同的日期的同一时刻看到不同的斗柄指向，换言之本来是周日变化的斗柄指向，而我们看到的是周年变化的斗柄指向。这种周年变化的斗柄指向恰恰反映出地球自转和地球公转运动的综合结果，而斗柄指向的周年变化也正好与一年内季节变化相对应。正如《鹖冠子》说：

> 斗柄东指天下皆春。斗柄南指天下皆夏。斗柄西指天下皆秋。斗柄北指天下皆冬。

这里描述的是在不同季节的黄昏时刻，所看到的斗柄指向。必须指出“黄昏”一词是一个非数字化的时刻概念，它在一年内是有变化的，大约是太阳时约为 18 时～20 时，因而这种描述就带来了较大的误差。

在上古时代，人们并没有地球的球形和它绕转自转的概念，也没有以太阳为中心的太阳系结构和地球绕日公转的概念。而这些概念是在 3 000 年以后才被人们

的新发现建立起来，但是自转和公转所产生的恒星方位变化规律的后果，却被中国上古天文学家率先发现，并且成功地、准确地应用到实际生活需要之中。这显示出中华民族智慧的火花。我们还高兴地看到，根据实践观察所提炼出来的，符合科学规律的现象和为之设计的观象授时方法，随着历史年代的推移发展得愈来愈完善。

在前节所引用的《夏小正》记载中，已经有“斗柄悬在下”、“斗柄正向上”，等等的明确记录。这就说明远在夏代，用斗建的观象授时方法已经开始，而到后来成书的《淮南子·天文训》说：

斗指子则冬至；加十五日指则小寒。加十五日指丑则大寒。加十五日指报德之维……故曰距日冬至四十六日而立春……加十五日指寅则雨水；加十五日指甲则雷惊蛰。加十五日指卯中绳，故曰春分……加十五日指乙则清明风至。加十五日指辰则谷雨，加十五日指常羊之维则春分尽；故曰有四十五日而立夏……加十五日指巳则小满；加十五日指丙则芒种。加十五日指午则阳气极，故曰有四十六日而夏至。加十五日指丁则小暑。加十五日指未则大暑。加十五日指背阳之维则夏分尽，故曰四十六日而立秋……加十五日指申则处暑；加十五日指庚则白露降。加十五日指酉中绳，故曰秋分……加十五日指辛则寒露，加十五日指戌则霜降；加十五日指蹄通之维则秋分尽，故曰四十六日而立冬……加十五日指亥则小雪，加十五日指壬则大雪。加十五日指子……故十一月日冬至。

《淮南子·时则训》：

孟春之月，招摇指寅……
仲春之月，招摇指卯……
季春之月，招摇指辰……
孟夏之月，招摇指巳……
仲夏之月，招摇指午……
季夏之月，招摇指未……
孟秋之月，招摇指申……
仲秋之月，招摇指酉……
季秋之月，招摇指戌……
孟冬之月，招摇指亥……
仲冬之月，招摇指子……
季冬之月，招摇指丑……





这两段记载，完完全全是一部非常准确的太阳历，作为中国古代天文学家独创的二十四节气，在这里描述得非常完备。二十四节气在中国古代历书天文中是另



一项非常杰出的创造，西方没有与之相对应的概念，因之没有适当的名词与之对应，只能意译为太阴历中的24个太阳项(Solar Term)。《淮南子》一书成书年代大约迟至公元前140年，但它充分追记了中国上古天文学的知识，这本书的特点是第一次把天文学作为一门重要的学科独立地写成两章，即“天文训”和“时则训”。历书天文学家们长期以来着重于该书记录天象的真实性和准确性，从而试图考证这些实测记录的年代，考察当时在编制历书方面达到的水平和贡献。作为天体测量学的研究我们有兴趣的是观察天象的方法和原理、技巧，从而研究那个时代在天体测量方面达到的水平和对后代的影响。因此我们将着重考察斗柄指向的确定性，以及研究指向黄道上的标志十二辰所起的度盘作用问题。

很显然，在用斗建的方法进行观象授时，其中斗柄是一根最基本的标志线，选定某一根线做标志线当然有人为的随意性，但是一旦被选定后，则具有权威性(就好像地球上的本初子午线、日期变更线一样)，遗憾的是恰恰在斗柄的确定性问题上，历来没有得到一致的解释。

按《史记・天官书》说：

> 大角者，天王帝廷。其两傍各有三星，鼎足句之，曰摄提。摄提者，直斗杓所指，以建时节，故曰摄提格。

这里说“大角”和“摄提”的方向是斗柄所指的方向。但是就是同一篇《史记・天官书》又说：

> 杓端有两星，一内为矛，招摇；一外为盾天锋。有句圜十五星，属杓。

而《晋书・天文志》又说：

> 北三星曰梗河，天矛也。一曰天锋。其北一星曰招摇，一曰矛。

由此可见上古所说的有北斗九星。第八颗星为招摇，即牧夫座γ星，第九颗星为梗河，又名天锋，即牧夫座ε星。

陈久金、卢央等在《彝族天文学史》中，为了研究《夏小正》的历法，做出了一项非常明确的论证，他们指出《夏小正》的斗柄指向线是北斗的一、五、七、八、九的连线，指向心宿(即“大火”)，而十二月建的斗柄指向线是六、七两颗星的连线，经过右摄提格指向亢宿，(图2—3)。

我们粗略地估计，这两个方向的差异，大约在25°～30°，这就是说可能产生一个月的差错。这样大的不确定性就很大程度上削弱了方法的创造者所期望获得的观察精确度。究其原因，则是中国上古的天文学家们常常有一个非常重要的疏忽，就是在引进一个概念、一个名词时，没有同时记载它的精确定义，同样的现象我们在研究古代太阳系天体测量时也曾遇到过，例如太阳系天体的“凌”与“犯”，由于没有严格规定它的含义，后人在应用这些宝贵记录时，带来了困难，这确实是非常令

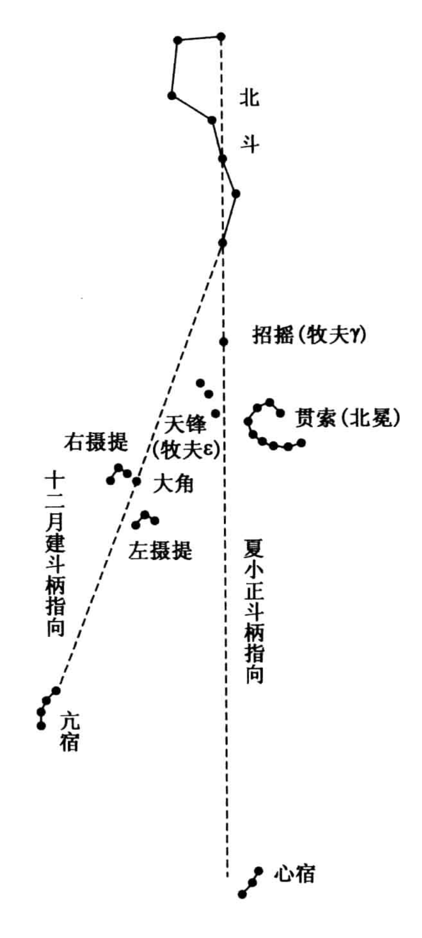







图 2—3　斗柄不同指向示意图

人遗憾的。

我们进一步从天体测量学的角度来讨论一下用十二地支所表示的十二辰的问题，在本节开始引用的《淮南子·时则训》中有“招摇指寅”，等等。经过十二个月依次指向十二辰，如果脱离干支名称的起源，以及物候授时与观象授时互相参照比对的过程，单纯从现代天文学的方法来理解，既然把斗柄当作巨型钟的指针，地平图作为这个钟的钟面，那么钟面上应该有刻度，以使读数能够精确化，按现代的观点自然是赋予数字序列。很可惜，人们无法在这个“钟面”上刻上数字，只能抽象地“刻画”(认定)成十二个等份，并以间接的方法来规定和读取它们的读数。这十二等份以十二个地支命名，并规定太阳在冬至点时斗柄指向为“子”，然后依序为“丑”、“寅”、“卯”……“戌”、“亥”，每隔 30°认定一次斗柄的指向。而对于太阳在黄道上的运动同步的规定为“小寒”、“大寒”、“立春”……“小雪”、“大雪”等 24 个节



气，在黄道上每个节气的点与点之间差15°，于是就成“观”斗柄方向之“象”，“授”太阳在黄道上位置之“时”。

在《淮南子·天文训》、《史记·律书》、《汉书·律历志》和刘熙所著的《释名》中都载明了十二地支的语源，虽然略有小异，但都认为地支名词顺序地表示万物从生，经过胚胎萌芽繁茂、成熟、衰减的状态。当然后来也有人考虑阴阳五行的变化，也有人主张与十二生肖联系，也有人主张从象形文字出发来追究十二地支的语源，可是后来的这些观点都暂时还只能认为是一家之言，未有定论。而前者用万物从生、繁茂、成熟、衰减的标定的传统解释我们认为是比较有说服力的。

因为以斗柄指向的观象授时与物候授时并存有相当一段时期，而在《月令》的记载中不仅有斗柄指向，同时也有物候描述，例如“孟春月蛰虫始，是月也立春”，“仲春月，始雨水，是月也日夜分……季秋月，霜始降”，等等。而追溯十二地支的语源，可以从《淮南子·时则训》看到，它的原文为：

> 帝张四维，运之以斗，月徙一辰，复反其所。
>
> 正月指寅，十二月指丑，一岁而匝，终而复始。
>
> 指寅，则万物。指卯，卯则茂茂然，指辰，辰则振也。指巳则生巳定也。指午则忤也。指未则味也。指申，申则呻也。指酉，酉则饱也。指戌，戌则灭也。指亥，亥则阂也。指子，子则兹也。指丑，丑则纽也。

就是说以斗柄所指向为先，指黄道冬至点为十一月，兹定名为“子”。如此以后按等间距分成12部分，则相邻两个地支之间就等价在黄道上相差30°。这样十二地支就人为地赋予了数字序列的内涵，而以它表达的汉字又与物候历的描述相衔接。

按照现代的观测工作程序应该是先制造仪器，在仪器上确定标志线，并将此标志线在安装仪器时与天球上的某一标志线（如子午线）重合，在仪器的度盘上分刻出数字序列的度盘分划，然后进行天体测量。而上古的天文学家在没有发明和制造精密仪器以前，经过实践他们向大自然取得了一具巨型的天然“仪器”，这就是以斗柄为标志线，以地平圈为度盘，并以物候学知识赋予度盘读数的名称，使其发挥数字序列的作用，并观测和记录了很多有意义的结果，这种做法实现了古代天体测量的发展，而且不断影响汉代以后有精密仪器的天体测量学，中国上古的天文学家在天体测量方法上堪称巧夺天工。



## 第五节 昏旦中星

根据中国上古天文学的各种文献的追记，很多学者分析后认定《尧典》四

仲中星的观象授时用的是昏旦中星法，这种方法看来比偕日法和冲日法要精确一些。但是我们在前面已经指出，"四仲中星"是昏旦中星法的直接证据并不充分。原因是《尚书·尧典》的这一段记录并没有明确说明它是昏旦中星法，甚至于，是不是中天观测也没有明确的说明，因此我们来研究《尧典》这一段记录时，至多只能把昏旦中星法作为一种可能采用的方法，从而在引出某些结论时，自然要特别小心。

但是确确实实中国古代天文学家们发明过昏旦中星法并用于授时，在《夏小正》记录中就有"初昏参中"，"初昏大火中"的记载，这恐怕是对上古时期关于昏旦中星法的最直接的描述。在历代文献中，对于昏旦中星法记载得最为完备的当推《礼记·月令》：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 孟春之月 | 日在营室 | 昏参中 | 旦尾中 |
| 仲春之月 | 日在奎 | 昏弧中 | 旦建星中 |
| 季春之月 | 日在胃 | 昏七星中 | 旦牵牛中 |
| 孟夏之月 | 日在毕 | 昏翼中 | 旦婺女中 |
| 仲夏之月 | 日在东井 | 昏亢中 | 旦危中 |
| 季夏之月 | 日在柳 | 昏火中 | 旦奎中 |
| 孟秋之月 | 日在翼 | 昏建星中 | 旦毕中 |
| 仲秋之月 | 日在角 | 昏牵牛中 | 旦觜觿中 |
| 季秋之月 | 日在房 | 昏虚中 | 旦柳中 |
| 孟冬之月 | 日在尾 | 昏危中 | 旦七星中 |
| 仲冬之月 | 日在斗 | 昏东壁中 | 旦轸中 |
| 季冬之月 | 日在婺女 | 昏娄中 | 旦氐中 |



《礼记》是秦汉之间儒者的著作，是对上古时期政治、文化的追记，而《月令》是其中的一篇，它记载了12个月执行的政令，包括天时、人事、动植物动态，等等。这本书的作者是谁？迄今尚未得到定论；一说作者是周公，另一说作者是吕不韦。在《礼记·月令》中的记录除有三处略有不同（见表2—2），其他与《吕氏春秋》《明堂·月令》完全一致。

**表2—2 《礼记·月令》与《吕氏春秋》《明堂·月令》的不同**

| | 《礼记·月令》 | 《吕氏春秋》 | 《明堂·月令》 |
|---|---|---|---|
| 季夏之月 | 昏中火 | 昏心中 | 昏心中 |
| 孟秋之月 | 昏建星中 | 昏斗中 | 昏建星中 |
| 仲秋之月 | 旦觜觿中 | 旦觜觿中 | 昏觜觿中 |




这些不同只是小异，因此《礼记·月令》可以作为昏旦中星法的代表记录。从记录本身就可以看出它比《尚书·尧典》、《夏小正》要完善得多。陈遵妫在分析了前人的研究以后认定《礼记·月令》所记录的天象，大约是公元前620年（鲁文公七年）前后100年间的天象。虽然可以看出这个记录与《淮南子》的"时则训"和"天文训"有密切联系，但是《礼记·月令》的记录来源至今尚未取得一致的认识。

我们这里感兴趣的是从观象的角度，也就是从天体测量的角度来考察昏旦中星法。

昏旦中星是指在"昏"与"旦"的时刻，观察天体的中天，从而自然得到了离太阳的赤经差。或者说可以知道太阳在恒星背景下的位置，这自然就确定了季节。这个方法的科学原理是非常正确的。这种具有科学原理的方法在西方到17世纪才由丹麦天文学家所发明，由于这时候已经有了精密的子午仪和准确的钟表，这种方法在天体测量学上发挥了里程碑的作用，可是丹麦天文学家发明之前的3 000多年，中国古代天文学家就建立了同样的科学思想，不能不承认这也是中国古代天文学家又一次天才的创造。仅仅因为上古时代不可能有精细的仪器来配合，以至于它的观测难于得到方法本身预期的精度。

昏与旦的指示，实际上是因为古代没有精确的、连续的计时仪器情况下，而由观察者自觉地或不自觉地选用了以地球自转运动为传动机构和以太阳为指针，以平行于赤道的太阳周日运行圈为钟盘的一个天然的巨型钟。但是由于昏与旦的不确定范围太大，例如对于纬度35°地方，冬至和夏至的日落或日出时间相差2.4小时，而从日落到恒星出齐也要1.5小时以上，这些都使得昏、旦的定义非常不确定。所以未能给出观测时刻的准确记录，从而使观察结果误差较大。




另一方面，固然中天在天文学上是一个非常精确的概念，但它只有在观察对象是一个点，或者是一个非常规则几何图面的中心时，才具有明确的"中天"概念，更何况要测定中天的瞬间则需要适当精确的测角仪器。这些技术性问题在上古时代都不具备，所以"中天"的概念也不能付诸实施。

正是因为上述两个原因，我们客观地说昏旦中星的学术思想、科学原理是先进的，以至于现代天体测量还在采用这个方法，但是实际操作的技术是粗浅的。当然这也不能苛求于古人，只是在现代使用这些记录时，应该谨慎。

在《礼记·月令》中关于昏中、旦中共包括24条，即每月两条。除重复两次出现的外，涉及天体对象20个，其中除"火"看来是明确对应的天蝎座α星，"建"与"弧"是两个星官，其余都是明确的二十八宿中的一个星宿，过去许多研究者在研究记录的年代时，往往先要假定对"昏"与"旦"所指示的时刻，假定略有不同，都会导

致结论相差数百年乃至千年。我们现在把《礼记·月令》的记录，当作一个统一的观测纲要来对待，可以求出古人的“昏”和“旦”所指示的真太阳时时刻。

首先我们对于每一个星宿选定一颗代表的恒星，在一般的情况下我们选用星宿或星官的距星，只有“火”的指示非常明确，它就是天蝎座 α 星，根据本书附录的星表，我们可以得出这些代表星在公元前 600 年和公元前 800 年两个历元时该星的赤经，把每一个月的“昏”与“旦”编成一组，列于表 2－3，其中括号内就是该星宿(或星官)的代表星(用现代名称)，用同一组中“旦”观测的星宿代表星赤经减去“昏”观测的星宿代表星的赤经，得赤经差为 Δ，换算成“时”这实际上这一个月的“夜长”。这个夜长不是以太阳天顶距离为 90°来划分昼夜的结果，而是以观测朦影时刻来划分的。

**表 2—3　代表星在公元前 600 年和公元前 800 年两个历元时的赤经**

| | | 昏 | 旦 | Δ | 夜长 |
|---|---|---|---|---|---|
| 孟春 | 星宿(官) | 参(猎户 δ) | 尾(天蝎 $\mu_1$) | | |
| | 前 600 年 | 50°.5 | 212°.1 | 161°.6 | $10^h.8$ |
| | 前 800 年 | 48°.1 | 209°.3 | 161°.2 | |
| 仲春 | 星宿(官) | 弧(大犬 κ) | 建(人马 $\xi_2$) | | |
| | 前 600 年 | 78°.4 | 245°.8 | 167°.4 | $11^h.1$ |
| | 前 800 年 | 76°.6 | 242°.9 | 166°.3 | |
| 季春 | 星宿(官) | 星(长蛇 α) | 牛(摩羯 β) | | |
| | 前 600 年 | 109°.6 | 267°.8 | 158°.2 | $10^h.5$ |
| | 前 800 年 | 107°.1 | 264°.9 | 157°.8 | |
| 孟夏 | 星宿(官) | 翼(巨爵 β) | 女(宝瓶 ε) | | |
| | 前 600 年 | 133°.6 | 275°.8 | 142°.2 | $9^h.6$ |
| | 前 800 年 | 131°.2 | 272°.9 | 144°.7 | |
| 仲夏 | 星宿(官) | 亢(室女 κ) | 危(宝瓶 α) | | |
| | 前 600 年 | 179°.7 | 297°.2 | 117°.5 | $7^h.8$ |
| | 前 800 年 | 177°.2 | 294°.5 | 117°.3 | |
| 季夏 | 星宿(官) | 火(天蝎 α) | 奎(仙女 ζ) | | |
| | 前 600 年 | 209°.8 | 339°.0 | 129°.2 | $8^h.6$ |
| | 前 800 年 | 207°.2 | 336°.6 | 129°.4 | |
| 孟秋 | 星宿(官) | 建(人马 ξ) | 毕(金牛 ε) | | |
| | 前 600 年 | 245°.8 | 31°.0 | 145°.2 | $9^h.7$ |
| | 前 800 年 | 242°.9 | 28°.4 | 145°.1 | |







续表

| | | 昏 | 旦 | Δ | 夜长 |
|---|---|---|---|---|---|
| 仲秋 | 星宿(官) | 牛(摩羯 β) | 觜(猎户 $\varphi_1$) | | |
| | 前 600 年<br>前 800 年 | 267°.8<br>264°.9 | 48°.9<br>46°.4 | 141°.1<br>141°.5 | $9^h.4$ |
| 季秋 | 星宿(官) | 虚(宝瓶 β) | 柳(长蛇 δ) | | |
| | 前 600 年<br>前 800 年 | 287°.6<br>284°.8 | 94°.3<br>91°.5 | 166°.7<br>166°.7 | $11^h.1$ |
| 孟冬 | 星宿(官) | 危(宝瓶 α) | 星(长蛇 α) | | |
| | 前 600 年<br>前 800 年 | 297°.2<br>294°.5 | 109°.6<br>107°.1 | 172°.4<br>172°.6 | $11^h.5$ |
| 仲冬 | 星宿(官) | 壁(飞马 ζ) | 轸(乌鸦 ζ) | | |
| | 前 600 年<br>前 800 年 | 330°.6<br>328°.0 | 151°.4<br>148°.9 | 180°.8<br>180°.9 | $12^h.1$ |
| 季冬 | 星宿(官) | 娄(白羊 β) | 氐(天秤 α) | | |
| | 前 600 年<br>前 800 年 | 354°.7<br>352°.1 | 188°.5<br>186°.0 | 193°.8<br>193°.9 | $12^h.9$ |

如果按太阳天顶距为 90°作为昼夜分界线，那么在春分和秋分时，昼长和夜长则同为 12 小时。对于北纬 35°处，冬至的昼长和夜长为 9.6 小时和 14.4 小时，夏至的昼长和夜长正好相反是 14.4 小时和 9.6 小时。我们把以太阳天顶距为 90°作为昼夜分界线的逐月夜长($L$)列入表 2－4，并同时按上表求出的夜长($L'$)列入与其比较，求得逐月相差值 $\Delta L$，“昏”与“旦”应各占一半即 $\Delta L/2$。

**表 2－4 夜长逐月相差表**

| 月 | 孟春 | 仲春 | 季春 | 孟夏 | 仲夏 | 季夏 | 孟秋 | 仲秋 | 季秋 | 孟冬 | 仲冬 | 季冬 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $L$ | 12.8 | 12.0 | 11.2 | 10.4 | 9.6 | 10.4 | 11.2 | 12.0 | 12.8 | 13.6 | 14.4 | 13.6 |
| $L'$ | 10.8 | 11.1 | 10.5 | 9.6 | 7.8 | 8.6 | 9.7 | 9.4 | 11.1 | 11.5 | 12.1 | 12.9 |
| $\Delta L$ | 2.0 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 1.8 | 1.8 | 1.5 | 2.6 | 1.7 | 2.1 | 2.3 | 0.7 |
| $\Delta L/2$ | 1.0 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.9 | 0.9 | 0.6 | 1.3 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 0.4 |

取 $\Delta L/2$ 的全年平均，并求其均方误差则得

$$(\Delta L/2)_{平均}=0^h.8\pm0^h.1$$

这就是说，我国古代的“昏”是指太阳离开地平线后 $0^h.8$，“旦”是指太阳出地平线前的 $0^h.8$，这样在处理问题时，就可以直接算出真太阳时的时刻，不需要作其他假定。$0^h.8\approx3.3$ 刻(百刻制)，这就再一次印证了“日入三商为昏”的记载，说明中国古代

的昏与旦有确定含义，并非随意描述。

这个数值表示，“昏”与“旦”的观测都是取太阳在地平线下10°左右时进行的，我们知道按照现代的精确定义，晨昏朦影分为民用晨昏朦影、航海晨昏朦影和天文晨昏朦影三种，其分别是太阳在地平线下6°、12°和18°，而我国古代天文学家所取的基本相当于航海晨昏朦影，即此时周围景色模糊，星象陆续消失或出现。我们可以看出中国古代天文学家观察天象是非常科学的。

## 第六节　古代星区划分与太阳系天体的方位测量

古代的人们，对天体种类的认识非常有限。首先认识的是众多的恒星，它们在天球上排成各式各样的几何图案，在经历几代人的历史长河中几乎觉察不出这些几何图案有什么变化。人们只得对这些图案探究和联想，中国人把这些图案与地上的皇权结构对应起来，为政治星占学服务，西方人则把它们与美丽的神话故事对应起来。在各个民族的早期，根据天文观察就出现了各种星区的划分，在中国则是星官，后来归类合并为三垣二十八宿，在西方则是流传至今的星座。在早期这种对应首先具有文化上的意义，作为自然科学的天文学讲，其意义并不明显。

但是除掉这些相对不变的几何图像外，却还有少量的天体是例外，它们是太阳、月亮、五大行星。它们在地球上相对于恒星背景做周期性的视运动。

至于彗星、流星和新星，它们出现的规律难以一下掌握，特别是新星出现根本没有规律可循，人们只能把彗星、流星和新星看成偶然现象，或者被星占学家解释为“上天示警”。而在科学的意义上的研究则是非常遥远的事情。





太阳、月亮运行的明显周期性与寒暑交替、朔望交替紧密地相关联，这对于编算历书是十分有用的。五大行星的运行与地面上的物候、人类活动并没有直接联系，但在人们对它认识不清楚时，也常常提出一些似是而非的星占学联系，于是对它们的观察和记录也实际上萌芽了太阳系天体的方位测量，按照星占学的“常则不占”，“变则占”的原则，对于五星运行，日月交食，行星的“凌”与“犯”等天象的观察，也在客观上推动了太阳系天体的方位测量。

方位天文学的基本前提是首先要建立参考坐标系，其天体的坐标位置要用数值序列来描述，尽管这种描述十分枯燥，但是它保证不会产生任何歧义。可是上古天文学家一开始并没有认识到以数字描述天体位置的必要性，他们宁愿用文字来描述，尽管这些文字描述富有诗情画意，但是它绝不能保证不发生歧义。譬如前节所述的“鸟星”是哪一颗星就是只用文字描述而被后人无意中丢失了。不过古代的各个民族的方位天文学恰恰都是从文字描述的方法起步的。



为了这种描述，在中国早期就出现了星官，其后又完善地发展对全天用三垣二十八宿体系来描述，为了特殊对象的需要，也产生了十二辰与十二次的描述方法。

有趣的是二十八宿在古代巴比伦、印度和阿拉伯的天文学中也同样存在。因为二十八宿的区分没有十分强烈的物理规律作为背景，所以它不大可能是各自独立的发现，显然它是远古时期中外文化交流的结果，而它们在信息隔绝的遥远的土地上能够彼此接收而且保存下来，也说明这种划分星区的方式确实有它的应用价值，这样，对于科学史来说就必然要探询它们起源于哪个地区。

二十八宿的起源问题，几乎争论了 100 多年，1840 年俾俄和玛德那主张起源于中国。1860 年韦柏主张起源于印度，尔后他又于 1894 年放弃自己的主张，同意霍梅尔提出起源于巴比伦的结论。1875 年荷兰人什雷该尔所著《星辰考源》和 20 世纪初得索诸尔所著《中国天文学》，新城新藏所著《二十八宿起源》以及我国前辈科学家竺可祯的《二十八宿起源的时代和地点》都主张起源于中国。1976 年夏鼐的《从宣化辽墓的星图论二十八宿和黄道十二宫》也得到了二十八宿起源于中国的结论。陈遵妫在其《中国天文学史》一书中对历来各家的论点依据，旁征博引，分析考究得出了二十八宿起源于中国的有说服力的结论。陈遵妫认为这个问题已成定论。只有少数天文学家还持异议。对于二十八宿的起源问题的论证不是本书的任务，本书的任务是要从天体测量角度考察二十八宿的作用和意义。

以恒星背景为参考来研究月亮的视运行，其运行周期为恒星月，它包含 27.321 66天，介于 27 天和 28 天之间，在天球上沿东西方向分划为 28 个区间（或者 27 个区间），那么月亮每天进入一个区间，此区间称为“宿”（或称为“舍”），其含义是明显的。王充在《论衡·谈天》说：

二十八宿为日，月舍，犹地有邮亭，为长吏廨矣。





新城新藏在《东洋天文学史研究》一书中指出“二十八宿是在中国周初时代或更早时代所设定”。李约瑟在《中国科学技术史》一书中提出二十八宿是一种完善的赤道分区体系，这里已经隐约地引进了它具有参考坐标系的内涵。

如果把周天分为 28 等份，则每一个星宿的东西跨度（赤道跨度）应该是 12°.8，也就是相当于单位为 12°.8 在赤道上的度盘刻画。当然它很粗，但毕竟它是均匀的坐标值。可是非常遗憾的是这 28 个区间的划分并不是等间距的，这就在使用中发生了困难，幸好自汉初一直到元代近 1 400 年间，历经汉、唐、宋、元几代天文学家不断地用测角仪器对二十八宿的赤经跨度进行了测量，我们选用最初汉代太初元年（前 104）和最后元代至元十七年（1280）的两次全面测定，这就相当于现代的度盘改正值。我们把它换算成今度列于表 2—5。

表 2—5　二十八宿赤经跨度表

| 东方(苍龙) | 前 104 年 | 1280 年 | 北方(玄武) | 前 108 年 | 1280 年 |
|---|---|---|---|---|---|
| 角 | 11°.8 | 11°.9 | 斗 | 25°.8 | 24°.8 |
| 亢 | 8°.9 | 9°.1 | 牛 | 7°.8 | 7°.1 |
| 氐 | 14°.8 | 16°.1 | 女 | 11°.8 | 11°.2 |
| 房 | 4°.9 | 5°.5 | 虚 | 9°.9 | 8°.8 |
| 心 | 4°.9 | 6°.4 | 危 | 16°.8 | 15°.2 |
| 尾 | 17°.7 | 18°.8 | 室 | 15°.8 | 16°.9 |
| 箕 | 10°.8 | 10°.3 | 壁 | 8°.9 | 8°.5 |
| 西方(白虎) | 前 104 年 | 1280 年 | 南方(朱雀) | 前 108 年 | 1280 年 |
| 奎 | 15°.8 | 16°.4 | 井 | 32°.5 | 32°.8 |
| 娄 | 11°.8 | 11°.6 | 鬼 | 3°.9 | 2°.2 |
| 胃 | 13°.8 | 15°.4 | 柳 | 14°.8 | 13°.1 |
| 昴 | 10°.8 | 11°.1 | 星 | 6°.9 | 6°.2 |
| 毕 | 15°.8 | 17°.2 | 张 | 17°.7 | 17°.0 |
| 觜 | 2°.0 | 0°.05 | 翼 | 17°.7 | 18°.5 |
| 参 | 8°.9 | 10°.1 | 轸 | 16°.8 | 17°.3 |

在中国古代观测记录中,常常翔实地记录了天象外还详细地记录发生这个天象的星宿背景,例如“月食荧惑,荧惑出荧室,宿羽林”,又如“蓬星见西南在房南”,等等,这样就增加了这些记录的使用价值。

事实上,现代的天文史学者,在使用这些记录时,也习惯性地把星宿换算成恒星坐标值。作者在这里是从天体测量的角度,评价划分星宿的科学意义,并阐明中国古代天文学家隐含的参考坐标系的意识。





三垣二十八宿已经包含了中国纬度上能够看到的所有天区。可能为了行星的观察(例如木星),晚些时候还建立了另一种局部的星区划分法,就是十二次。

在讨论十二次以前,我们先讨论一下可能比二十八宿形成要早一些的十二辰概念。为了观察北斗的斗柄指向确定季节,中国古代在地平图上从东向西人为地划分为 12 个等份,用子、丑、寅……十二地支来记录就已明确。它的零点是定义在冬至日斗柄所指方向为“子”,依序均匀类推。郭沫若在《甲骨文研究》中指出,十二次来源于十二辰,而陈遵妫则提出异议,陈遵妫认为十二次的设立目的是为了观察木星的运行,而十二辰的目的是观察斗柄的指向,确定季节,是间接地观察太阳的周年运行。因此两者在实质上不应该有渊源关系。我们认为陈遵妫的观点是有其天文学根据的。

十二次的名称依次为:

星纪　玄枵　娵訾　降娄　大梁　实沈



鹑首　鹑火　鹑尾　寿星　大火　析木

早期它完全为了描述木星每年所在的位置。最初是沿赤道划分，到了唐代则又从黄道划分，当然黄道比赤道接近于木星轨道。陈遵妫认为中国古代是准赤道坐标系，它依赤道划分较合乎最初的思想。

在《汉书·律历志》中，进一步把十二次与二十八宿配合起来。即：

角　亢　氐　房　心　尾　箕　　东方七宿配寿星、大火、析木

斗　牛　女　虚　危　室　壁　　北方七宿配星纪、玄枵、娵訾

奎　娄　胃　昴　毕　觜　参　　西方七宿配降娄、大梁、实沈

井　鬼　柳　星　张　翼　轸　　南方七宿配鹑首、鹑火、鹑尾

这样，事实上完成了坐标变换，所有对二十八宿在参考坐标系概念上的讨论，对于十二次都适合。





# 第三章　中国古代的天球参考坐标系

天体测量学的主要任务既然是研究和测定天体在天空中的位置和运动，它就需要采用一定的方式将天体在天空中的位置标示出来。通常的方法是在天空中建立一种参考坐标系，使天空中任何天体的位置都能用该天体在这一坐标系中的坐标确定下来。而在知道了某一天体在该坐标系中的坐标后也就能据其在天空中的相应位置上找到这个天体。在古代，人们通过对恒星的观测早就建立了一种天球参考坐标系，它与现今在天文学中使用最为广泛的赤道天球坐标系是十分相似的，是世界上出现最早的赤道天球坐标系。与世界上其他古老民族所建立的天球坐标系相比，它是我国古代独有的，具有显著的民族特点。本章中除了对其形成过程及有关特点进行一定程度的探讨外，还将对中国古代与天球参考系有关的问题及其他天球参考坐标系的情况做尽可能系统的介绍。

## 第一节　中国古代的宇宙学说与天球概念

### 一、原始的天地观与北天极

在中国古代，天作为一个概念是相对于地而存在的。远古时代的人们就生活在大地上，他们能够直接接触到的东西都是与地联系在一起的。高山、大河、森林、湖泊、飞禽、走兽、昆虫、鱼类等无一不是在大地上的客观存在。但人们抬头仰望，就会发现日、月、星辰、云霞虹霓均高高地出现在地的上方，可望而不可及，人们就自然而然地将它与在大地上观察到的事物区分开来，形成了天的概念。人们的宇宙观也就是一种关于天高高地位于地的上方的概念。我国古代有盘古氏开天辟地的神话传说。它讲到天地本来是合在一起的混沌一片，通过盘古氏的斧劈凿开才使清气上升成为天，浊气下沉而为地，从而出现了天地分开、天高高覆盖在地上方的情况。用现代人的眼光来看，这虽然有些神奇美妙，但终究是十分荒诞的。然而它却从侧面客观地反映了远古时代的先民们认为地的上方是天的最原始的天地观。它只涉及天、地的相对位置，并未形成有关天的形状的任何概念。

随着时间的推移，人们对自然界的观察也日趋细致，对有关天文现象也逐渐有了一定的认识。人们最经常观察到的也是最显著的天文现象是太阳的东升西落，



也就是昼夜交替现象。与此同时人们也发现月亮和星也都有东升西落的运动，从而开始产生了天不是静止不动而是有一从东向西的运动的概念。进一步的观察又使人们开始了解到除了太阳、月亮和五颗特殊的星（后来人们称其为行星）的相对位置有变化外，所有的星之间的相对位置看上去都是不变的，人们就称其为恒星。这些恒星看上去就像是结成了一个整体，每天周而复始地从东向西运动。然而人们又发现在偏北的一块天空区域中的恒星虽然也在运动但却并没有东升西落，在该区域北半部的星的运动方向却是从西向东的，使这些恒星好像都在围绕着天空中的一个固定点在转圈子，将它们与其他恒星甚至太阳、月亮、五大行星联系起来观察，人们就建立起了天空中所有的物体都是绕着那个固定点转动的概念，并将那个固定点称为极或北极。在现代天文学中称它为北天极。它实际上是地球的自转轴的北端所指向的天空中的一点，太阳、月亮和星辰绕北天极所做的圆周运动实际是地球从西向东自转的反映。这在中国古代显然是难以认识到的。然而北天极概念的建立对中国古代天文学的发展是具有十分重大的意义的，它不但对中国古代宇宙学说的形成有重大影响，而且也是建立天球参考坐标系的基础。

中国古代对北天极确实也是十分重视的。在《论语・为政》中收录了孔子的一段话："子曰：为政以德，譬如北辰，居其所而众星拱之。"将北天极在天空中的地位与人间的统治者和臣民的关系对应了起来。在《史记・天官书》中一开始就强调了北天极的重要地位："中宫，天极星，其一明者，太一常居也。"把北极星看作是天神中最尊贵的天帝所在的地方。《晋书・天文志上》中也记述有："北极，北辰最尊者也，其纽星，天之枢也。天运无穷，三光迭耀，而极星不移，故曰'居其所而众星拱之'。"下面就要谈到的中国古代的宇宙学说之一的盖天说中还将北天极看作是天的中心，《晋书・天文志上》在谈及这一宇宙学说时就有："北极之下为天地之中"、"极在天之中，而今在人北，所以知天之形如倚盖也"、"天之卯酉，常值斗极为天中"等叙述。正是这样重视北天极，人们才会将天体与其之间的角距离作为衡量天体位置的坐标之一，并通过它而逐步形成具有中国特色的天文参考坐标系。

## 二、盖天说与半球形天空概念

"敕勒川，阴山下。天似穹庐，笼盖四野。天苍苍，野茫茫，风吹草低见牛羊。"南北朝时鲜卑族诗人斛勒金用形象生动的语言描述了在一望无际的大草原上遥望天地的直观印象。然而早在斛勒金生活的时代以前不知多少年，人们就已经根据这种直观印象建立了盖天说这一宇宙学说。通常认为，最早的盖天说（也叫第一次盖天说）是将大地看成是平坦方正的，而天空就像一只半球形盖子高高地盖在地的上方，这就是所谓天圆地方说。《晋书・天文志上》中记述："周髀家云：天圆如张

盖、地方如棋局”，与此基本上是一致的。在成书于西汉初期的著名天文数学著作《周髀算经》中也记有“方属地，圆属天，天圆地方”、“笠以写天”的认识，虽然没有具体形象的描述，但看来并无太大的矛盾。由于天空中日月星辰与观察者之间的距离相对于人们周围的物体来说可以认为都是无穷远的，肉眼无法分辨它们距离远近的程度，在视觉上就会产生它们好像都是在与观察者之间有相同距离的位置上，从而造成天空好像是半圆球形的假象。故第一次盖天说中将天空想象成半球形也是有一定的依据的。然而在《周髀算经》中有关第一次盖天说的计算都是要将天视为平面才有可能成立，似乎表明它与东汉著名学者王充所提出的被称为方天说或平天说的学说倒是十分相像的。其模式就是天和地都是非常大的平面，不过天的形状是圆的，地的形状是方的，从而有天圆地方的说法。看来这一可能性似乎更大一些。盖天说究竟产生于何时？看来是很难搞清的了，但从《周髀算经》中有关的叙述是以周公与商高的对话形式来表达的情况来看，它的内容一定出现得相当早，当然所谓周公与商高的对话不过是一种假托，但它表明在《周髀算经》写作、整理、成书的年代盖天说已经早就流行了，当时人们已经不能说清其产生的年代才能求助于这样的假托来扩大影响。在《晋书·天文志上》中还有关于盖天说中的天和太阳、月亮运动情况的形象描述，它将天视为一个整体，好像是一只从右向左转动的磨石，而太阳、月亮则是在磨石上从左向右爬动的蚂蚁，其爬动速度比磨石的转动慢多了，也就被磨石带动着向左转动了。这就十分生动地将太阳、月亮与天的视运动情况表现了出来。其所说的天实际上也就是与恒星相对固定的一种概念，而观察太阳、月亮在天上的位置变化情况就需要在天上寻找一些相对固定的标志点，建立起相应的参考坐标系，以得到较为客观的认识。显然，恒星就可以担当起这样的标志点的角色。在《晋书·天文志上》中有这样一段话：“蔡邕所谓周髀者，即盖天之说也。其本庖牺氏立周天历度，其所传则周公受于殷高，周人志之，故曰周髀。”认为在远古时代就已经采取了将周天划分为度的做法，这也就建立了用来表示天体在天空中位置的一套方法。这种说法虽然在年代上可信度不高，然而如果只是说在盖天说一整套学说建立的过程中就采取了这一做法则是有据可查的。在《周髀算经》中也记述有后来被称为第二次盖天说的有关内容：“天象盖笠，地法复槃。”将天看作是一只圆形的斗笠，盖在形状类似于倒扣着的盘子的地的上方。在相应的记述中就有关于二十八宿的内容。所谓二十八宿就是在天赤道附近的二十八群恒星，借助于它们可以标识天空中各种天体的位置。中国古代的赤道天球坐标系就是以其和北天极建立起来的。这在后面我们还会谈到，这里先不做详细介绍。《周髀算经》中记述了测量二十八宿各宿范围的方法，指出在冬至、夏至时太阳分别在二十八宿中的牵牛和井宿处。这表明当时人们不但对恒星的相对位置有了比较



清楚的了解，而且还能利用恒星在天空中的位置来观察太阳的周年视运动情况。特别值得一提的是，《周髀算经》中不但对北天极的特殊地位给予了充分的肯定，还出现了某些恒星与北天极的角距离数据，这与中国古代的赤道天球坐标系中的去极度坐标具有完全相同的含义。然而在中国古代的盖天说中并未看到有天赤道的明确概念，也没有能完全确定某一天体在天空中具体位置的坐标数据，由于盖天说与天球概念终究有相当的差异，尽管上面谈到的情况已经与天文参考坐标系的诞生已经相当接近了，但这一缺陷使其不可能再向前迈进。只有根据浑天说的有关见解，人们才跨出了这决定性的一步。

## 三、浑天说与天球概念

浑天说产生的年代也很难以考定了。战国时期著名的爱国诗人屈原在其诗篇《天问》中有"圜则九重，孰营度之"的诗句，有人认为这里的"圜"就是指的圆球形的天空，看来其根据是不太充分的。在郑文光、席泽宗两位先生所著《中国历史上的宇宙理论》一书中提到，与屈原差不多同时代的慎到曾在其所著《慎子》中说过："天体如弹丸，其势斜倚。"这表明浑天说的基本思想在战国时期确实已经形成了。不过我们在现存《慎子》的残篇中却没有找到这句话。在《晋书·天文志上》中引用了《春秋纬·文曜钩》中的叙述："唐尧即位，羲和立浑仪。"认为在远古的唐尧时代就已经产生了以浑天说为基础而制作的浑仪。这当然是不足为凭的，但似乎也可表明浑天说的产生应是相当早的。在《宋书·天文志一》中记述人们对浑仪的议论时引用了三国时吴国的天文学家王蕃说的一句话："浑天遭秦之乱，师徒丧绝；而失其文，惟浑天仪尚在候台。"也将浑天说诞生的年代看作是在秦代以前。近年来有人通过对马王堆帛书《五星占》中天文数据的研究认为先秦浑仪应该是存在过的，这也表明浑天说的出现可能是在秦代以前。但由于在很长的一段时期内盖天说的发展相对来说已较为完善，在各种宇宙学说中占据统治地位，浑天说的有关论点并未能被人们广泛接受，故在早期的古籍中很难找到其有关线索。直到东汉的前期发生了一场盖天说与浑天说的大争论，浑天说的基本观点才得到充分的阐述。东汉著名的科学家张衡在其所著《浑天仪注》中明确指出：





> 浑天如鸡子。天体圆如弹丸，地如鸡中黄，孤居于内，天大而地小。天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。周天三百六十五度又四分之一，又中分之，则一百八十二度八分度之五覆地上，一百八十二度八分度之五绕地下。故二十八宿半见半隐。其两端谓之南北极。北极乃天之中也，在正北出地上三十六度。然则北极上规，径七十二度，常见不隐。南极，天之中也，在正南入地三十六度。南极下规

七十二度，常伏不见。两极相去一百八十二度半强。天转如车毂也，周旋无端，其形浑浑，故曰浑天也。[①]

这里关于天的描述与近现代天文学中为表示天体在天空中的位置而假想的天球基本上没有什么区别。它们均将天空假想为圆球形，绕着穿过南、北天极的轴线转动，地平面将它分成两个半球，人们只能看到在地面以上的半球，在北天极附近有一块天区的恒星永不下落，这就是现代天文学中所说的恒显圈。所不同的只是张衡所说的浑天中北天极的地平高度取为常数三十六度，即只与某一特定的观测地点联系在一起，而近现代天球概念中的北天极的地平高度是与观测地点的地理纬度在数值上是相等的，它随着观测地点的不同而有改变。然而这一差异并非本质上的，而且随着中国古代人们活动范围的扩大，人们也就认识到在不同地理纬度的地方北天极的出地高度也不同的道理，从而使浑天说的宇宙模型与天球概念更为接近了。在浑天说的观点普遍被人们所接受后就有可能在球形的天上依靠一些标志点和标志线建立起表示天体位置的坐标系。

## 第二节　四象与二十八宿

### 一、最早的星空划分——两象

在上一节中我们谈到盖天说的有关情况时曾经说过，为了描述太阳、月亮在天空中的运动情况就需要在天空中寻找一些相对固定的标志点，在精度要求不太高的情况下恒星可以满足这样的需要。事实上在中国古代人们也就是利用某些恒星来观察其他天体在天空中的位置或运动情况的。然而要做到这一点就首先必须对这些恒星在天空中的位置情况有明确的认识，这样在需要的时候才能正确地在天空中找到它们，从而让它们正常地发挥标志点的作用。《周礼》中讲到春官保章氏的职责时有“掌天星，以志星辰日月之变动，以观天下之迁，辨其吉凶”的记述。通常认为《周礼》可能成书于战国时期，但它是专门记述西周政治制度的著作，其反映的情况应该比战国时期早。虽然这里对日月星辰的观察主要是为了星占的需要，但它却表明了在西周时官方就已经通过“掌天星”的手段，也即通过了解和掌握恒星的相对位置的方法来观察其他天体在天空中运动的情况了。民间采用这一方法可能还要更早。

要掌握恒星的相对位置最方便的方法就是记住这些恒星所构成的几何图形甚



---

① 洪颐煊：《经典集林》卷二七。



至相似的物体图形。中国古代就是这样做的。远古时代的天文学处于观象授时阶段时人们通过观察星象来确定季节的变化，这样他们就会逐步发现在不同的季节时所观察到的星象是不同的，并从而对它们进行区分。最早时是将它们分为两大群。这大概是与远古时代人们尚未建立起一年四季的概念而只将一年划分为两季的情况有关。他们将这两群恒星分别想象为龙和虎的图形，并将它们合称为两象。看来这与中国远古时代先民部落的图腾崇拜不无关系。1987 年，在河南省濮阳县西水坡文化遗址的一座距今约 6 000 多年的坟墓中，人们发现在墓主的遗骨左右两侧分别有用蚌壳摆放成的龙与虎形象。这虽然有可能与墓主人的身份及尚武精神有一定的联系，但因其方位与墓主遗骨的位置关系恰与中国古代“东方苍龙，西方白虎”的说法一致，而墓主遗骨的北边又有类似于北斗的形象，故它更可能是远古时代的先民们对星象的原始描绘，它客观地反映了当时人们用两象来划分星空的实际情况。无独有偶，早在 1978 年，人们在湖北省随县擂鼓墩属于战国早期的曾侯乙墓中发现了一只漆箱，其箱盖上有关于星象的描绘，其图案是围绕一个写得很大的斗字的四周写着二十八宿的名称，而两边则分别绘有龙和虎的图案。这似乎表明直到战国初期人们依然还是采用两象来区分不同季节观察到的星象的。当然，由于箱盖是长方形的，当时即使采用了四象的划分方法，在绘上了龙、虎图案后四象中的另两象也就可能无法画上去了，看来还不能完全排除当时已经采用了四象的可能性，但这也说明了当时人们对龙、虎这两象比另外两象要更为重视，如果这时确实已经采用了四象那也不会为时太久。

## 二、四象的形成

四象的出现肯定是在人们已经形成了四季的概念以后的事情。由于在殷代甲骨文中尚没有发现四季的全部名称，通常认为当时可能只有春、秋（也有人认为是春、冬）两季。四季概念的形成最早也只可能是在殷商的后期，四象的采用就应该更晚。人们只有通过对星象和四季的关系进行长期的观察才有可能在原有的两象的基础上进一步发展成四象。所谓四象又称为四陆、四神或四灵。它实际上将原来两象的龙、虎形象上再加上鸟和龟的形象，形成了东方龙、南方雀、西方虎、北方龟的格局。在春秋战国时期又流行一种五行配五色的说法，人们分别用青、赤、黄、白、黑五种颜色与东方、南方、中央、西方、北方相配，最后形成了东方苍龙、南方朱雀（也叫朱鸟）、西方白虎、北方玄武的传统说法。这里的玄武也就是乌龟，也可将其视为龟蛇合体的形象，在汉代画像石中它被描绘成在乌龟身上盘绕着一条蛇。在中国古代四象长期以来被视为天的象征。在东汉著名科学家张衡所著《灵宪》中就有如下生动的描述：“苍龙连蜷于左，白虎猛据于右，朱雀奋翼于前，灵龟圈首于




后，黄神轩辕于中”。研究表明，四象的分布情况是以初春黄昏时对天空的观察为基础的，这时朱雀正好位于正南方，苍龙位于东方，白虎在西方，玄武也就在北方地平线下。将四象与某些恒星紧密联系在一起对辨认恒星的相对位置情况是相当有效的，它对恒星的标识作用是应该予以肯定的。历代统治者以得天命、顺天意自居，在其出巡或采取某些军事行动时常用四种绘有四象图形的旗帜作为仪仗队的道具，在《礼记·曲礼》中就记述有“行，前朱雀而后玄武，左青龙而右白虎”的规定，这恰与天空中四象的分布情况是一致的。这样，四象作为古代天文学中的概念已被用来为当时统治阶级服务了。

## 三、星官

将星象划分为两象或四象对辨认恒星的相对位置来说还是相当初步的，它只能给人们一个十分粗糙的大致印象，要对恒星的相对位置做更为精细的了解就要通过更加细致的观察建立起进一步的概念。可能早在人们将星象划分为两象的时代就开始根据恒星间距离的远近分别将它们划分为较小的组合，也就是使那些位置很接近的恒星编为一组，各组的恒星数目不等，有多至十数颗甚至数十颗的，也有少到只有一颗。这样的组合在中国古代叫作星官，它与现今天文学中的星座在意义上是类似的，尽管在其划分方法上存在着差异。人们根据星官中各成员星的排列形状或其他特征，甚至是随心所欲地为其命名以示区别。开始时人们用日常生活中经常可以见到的事物作为星官的名称。于是星官的名称中有的是农具名：箕、棓、定(形状类似于锄的一种古代农具)等；有的是生活用品的名称：斗、床、车、船、门、旗、杵、臼、薪等；有的则是猎具或武器名：弧矢、毕(捕兔用的网)、枪、戈、钺等；有的用上了动物的名称：牛、狼、鱼、鳖、龟、野鸡等；还有的是用苑、库、厕、仓、廪、室、房、井、道、路、江、河等表示处所的名称；甚至有以人物如老人、丈人、子、孙、织女、轩辕等命名的。随着社会的发展，人类社会的政治机构中的一些角色也在星空中出现了，星官名称中就有以帝、公、侯、相、卿、诸侯、将、宦者、官、卒、羽林军之类来命名的；也有用周、秦、燕、赵等封地和明堂、灵台、大理、天牢等机构名称来作星官名的。在殷商甲骨文中就已经出现了个别的星名；传说为夏代历法的《夏小正》中则记有八个星官名称；收集有周代前期到春秋后期诗歌的《诗经》也出现了某些星官的名称。据统计，在秦代以前的典籍中提及的星官名称就约有38个(不包括秦代以后典籍中引述的星官名，例如《开元占经》中所引的石氏、甘氏星经中的星官名)，这些都表明人们将恒星划分为星官的做法可能早就存在了。由于星官所包括的范围比四象要小多了，星官的划分也就使人们对星空中各恒星的区分有了较为精细的概念，尤其是人们对在天赤道、黄道附近的二十八个星官即二十八宿位置



的认识成为中国古代赤道天球坐标系产生的基础之一，在我国古代天文学发展史上具有重大意义。

## 四、二十八宿体系的中外起源说

将二十八宿作为一个整体提出来以《周礼》中的记述为最早。其在谈到春官冯相氏的职责时有"掌十有二岁、十有二月、十有二辰、十日、二十八星之位，辨其叙事，以会天位"的记述。在叙述秋官硩蔟氏的职责时也说到："掌覆夭鸟之巢，以方书十日之号、十有二辰之号、十有二月之号、十有二岁之号、二十有八星之号，县其巢上，则去之。"甚至在《周礼·考工记》中谈到辀人（即制作一种小车中间的一条弯曲的车杠的工匠）时也有"盖弓二十有八，以象星也"的说法，把制车过程中某种部件的规格也与二十八宿联系了起来。可见在西周时不但官方的天文工作者要掌握二十八宿的位置情况，与天文学无关的方面也与其建立了联系，表明二十八宿在当时已经为人们普遍了解，二十八宿的产生应该在此之前。根据二十八宿星名所出现的古代文献可能对应的年代来看，二十八宿的起源似还可能追溯到更早的年代。然而对于二十八宿是否产生于我国，目前还是有争论的。

二十八宿体系不但我国古代有，在印度、阿拉伯、伊朗、埃及古代都曾经使用过，这样也就存在着一个它们是否同出一源和最早产生于何处的问题。根据各国的二十八宿体系之间具有相当多的共同点，绝大部分的研究者都倾向于认为它们是同出一源的。由于阿拉伯、伊朗、埃及的二十八宿体系出现得比较晚，它们与古印度的二十八宿相似之处又甚多，故通常认为它们是由印度直接或间接传过去的。印度古代有二十七宿和二十八宿两种划分方法，前者出现较早，后者只是在其基础上增加了一宿而已。按照英国科技史专家李约瑟在其所著《中国科学技术史》一书中统计，其各宿的联络星（也称主星，即各宿的代表星）与中国古代各宿的距星（即用来确定天体坐标的标准星）相同者有九宿，虽不同但却位于同一星座的有十一宿，只有八宿未能找到共同之处。印度各宿的标准星大部分选取的是亮星，而中国古代的距星却往往取稍暗者。历来的研究者主张二十八宿起源于中国、印度的都有，双方均有各自的理由，但由于均没有确凿的早期文献资料予以证明，故也很难得出最后的结论。还有人认为二十八宿体系可能最早产生于巴比伦，后来才分别传到中国和印度的，但这一说法并没有可靠的事实根据。也有人为争论找到一个折衷的观点，认为二十八宿体系是古代在中国和印度分别独立建立和发展起来的，后来由于两国之间存在的文化接触才使它们有了一定程度的相似，看来也并非没有道理。由于二十八宿体系究竟起源于何处对赤道天球坐标系的建立并无直接的关系，我们没有必要在这里详细讨论，但值得一提的是中国古代的二十八宿体系与




其他古老民族的不同，其各宿所占据的范围是沿着天赤道方向排列的。在《汉书·律历志下》中所列出的二十八宿距度（也叫宿度，即各宿在一周天中所占的范围）值就是相对于天赤道方向而言的，《续汉书·律历志》里才开始列出了相对于黄道的二十八宿距度值。这说明中国古代的二十八宿的产生最早是用于作为天赤道方向上的标志的。而印度的二十八宿体系则是沿着黄道方向的，后来印度通行的二十七宿体系则是将黄道均匀分为 27 个等份，使每宿占有 13°20′的范围，二十七宿合起来为 360°，这虽然已与产生时情况有所不同，但它却清楚表明了印度二十八宿体系依黄道方向划分的特点。只有中国古代的二十八宿体系才能为建立赤道天球坐标系作出贡献。

## 五、二十八宿研究中的一些问题

二十八宿体系的建立除了其是否产生于中国难以搞清外，其本身还是存在不少问题的。首先是二十八宿为什么取为二十八？按照汉代刘熙在其所著《释名》中的说法：“宿，宿也，言星各止住其所也。”（转引自《格致镜原》）将宿视为行星停留的位置所在，这实际上是把宿与行星的运行联系了起来，作为其划分依据。在《吕氏春秋·圜道》中则有“月躔二十八宿”之语。西汉经学家、天文学家刘向则说：“所谓宿者，日月五星之所宿也。”（《说苑·辨物》）东汉著名学者王充则叙述得更为形象：“二十八宿为日月舍，犹地有邮亭，为长吏廨矣。”（《论衡·谈天》）他们将二十八宿看作是月亮、太阳甚至还有五大行星在运行过程中停留的处所。由于月亮在天空中运行一周约需 27 天多，将二十八宿视为月亮运行的有关标志似乎是顺理成章的。李约瑟在《中国科学技术史》一书中指出：二十八是月亮运动的基本周期的平均值，其朔望月是 29.53 天，恒星月是 27.33 天，两个周期是无法调和的，但使用 28 天这个在两者之间的数却很方便，故有二十八宿。这种说法有点含糊其辞。由于二十八宿各宿所占据的范围相差很大，大者有 30 余度，小者只有一二度，而月亮每天平均运行 13 度多，认为月亮每天运行一宿的看法显然是很牵强的。用其来解释印度后来通行的二十七宿均分黄道的情况才是合适的，解释我国的二十八宿体系则是很成问题的。看来这应与二十八宿产生的历史过程有密切的关系，需要通过进一步的研究才有可能得到较为准确的答案。二十八宿各宿的范围为何宽窄不均也是一个长期以来得不到解决的问题。北宋著名科学家沈括在其所著《梦溪笔谈》中曾经试图对其做出解释：“二十八宿为其有二十八星当度，故立以为宿。”“非欲不均也，黄道所由当度之星，止有此而已。”认为在二十八宿形成的时代其标准星恰巧在整数度数处，故就不会整齐划一。这虽然并非完全没有道理，但也没有确凿的证据表明当时确实如此处理。由于在天赤道与黄道附近可供选择的恒星相当多，在



目视观测的情况下以不高的精度(与二十八宿形成时代相应)能与整数度数处相应的恒星是可以有多种选择的,应该能够避免这种宽窄过于悬殊的情况。也有人认为这是在选取各宿的标准星时要求它与某一拱极星的位置基本对应,这样在它还在地平线下无法观察时也能通过相应拱极星来推知其位置。这一说法好像有一点道理,但其事实根据也是相当缺乏的,大部分二十八宿的标准星并没有位置与其相应的拱极星可对应。而且如果这一说法可以成立的话,这些拱极星也就具备了二十八宿标准星的功能,二十八宿标准星的选取就是多余的了。所以这一说法也是难以让人接受的。还有人认为二十八宿标准星是成对排列的,即每两颗标准星是遥遥相对,其位置在天赤道上的对应点各相差半个圆周。然而事实上也只有一小部分的标准星能够勉强满足这一条件,历史上遗留下来的二十八宿标准星的有关数据大部分都不能支持这一观点。由以上可见,目前尚没有找到一种说法能圆满解释二十八宿各宿范围宽窄悬殊的现象。与此类似,二十八宿的距星的选取为何大多数都是较暗的恒星也同样是一个难解之谜。可以肯定,在研究二十八宿有关情况时所出现的这些难以得到圆满解释的问题是与其产生过程中的某些情况有关的。这只能通过进一步的研究将后者搞清从而使问题得到解决。

尽管二十八宿存在着一些难以解决的问题,但人们对它作为表示天体在天空中位置的标志所起的作用是一致公认的。近代日本学者新城新藏认为二十八宿的划分是用来确定朔日时太阳、月亮的位置的:“乃全为研究月对于恒星的运动,即为逆推日月在朔的位置而已。”[①]李约瑟则明确指出:“二十八宿这条线是量度月球运动的刻度标尺。”“中国人在公元前1世纪的时候,建立了按时圈与赤道相截的点而划分的完善的赤道分区体系,即二十八宿。人们应当把这些宿看作是天球的区划(状如橘子瓣);……二十八宿的界限一经划定,不管星群和距星距离赤道远近如何,中国人都能够知道它们的准确位置;甚至当它们在地平线以下看不到的时候,只要观测和它们拴在一起的拱极星的上中天,也可以知道它们的位置。这就是求太阳在恒星间的位置的方法,因为望月在恒星间的位置与太阳的看不见的位置相反。”(《中国科学技术史》)对二十八宿在表示太阳、月亮运动情况中所起的作用做了明确的叙述。虽然这些叙述的准确性尚有可探讨的余地,但二十八宿在建立赤道天球坐标系时所起的重要作用是不容置疑的。




中国古代也将二十八宿与四象配合了起来,从角宿开始每七宿属于一象,分别以四象的名称称为东宫苍龙、北宫玄武、西宫白虎和南宫朱雀(或朱鸟)。由于二十八宿各宿的范围是参差不齐的,四象分别所对应的度数也是不等的。据《汉书·律

① 新城新藏:《东洋天文学史研究》,沈璿,译,中华学艺社,1933年。

历志》列出的数据，东方七宿有七十五度，北方七宿有九十八度，西方七宿有八十度而南方七宿为一百十二度。随着时代的推移，这些数字也有一些变化，但东、西方七宿的度数比南、北方七宿要小得多，有人认为这与我国黄河流域的气候春、秋短而夏、冬长的情况是相应的，看来似有一定的道理。

## 第三节　中国古代的角度单位

### 一、最基本的角度单位——度

与测量两点之间的直线距离需要使用标有长度单位标志的标准尺子一样，测量不同方向之间相距的角度大小也需要建立起角度单位。而表示天体在天空中的位置必然要涉及该天体与某些已知位置的天体或标志点之间的角距离的测量，角度单位的建立和运用当然也就是至关重要的。与现今世界上通用的将一圆周划分为 360°的做法略有不同，中国古代是将一圆周划分为 $365\frac{1}{4}$度的。这种做法肯定是与人们早期把一年视为包含有 $365\frac{1}{4}$天的认识有关的。这里的度也就是中国古代的基本角度单位。在《晋书·天文志》中谈到盖天说时有这样一段叙述："其本庖牺氏立周天历度，其所传则周公受于殷高，周人志之，故曰周髀。"在我国古代重要的天文算学著作《周髀算经》中就有将天空分度和测量天体之间角距离的叙述，一般认为《周髀算经》成书于西汉或更早的年代，《晋书·天文志》中将《周髀算经》中对度这一角度单位的运用追溯到远古时代的伏羲氏，这当然不是十分可靠的，但人们通过在 20 世纪 70 年代从西汉墓中出土的两件文物仍然有理由相信将周天划分为 $365\frac{1}{4}$度的做法是远早于西汉的。1973 年底在湖南省长沙市马王堆 3 号汉墓中出土了一部我国现存最早的天文学专门著作，即著名的马王堆帛书《五星占》，它主要记述了五大行星的有关星占文字，也列出了从秦始皇元年（前 246）到汉文帝三年（前 177）共 70 年期间木星、土星、金星的位置和运动动态情况。在叙述木星的运动动态时明确指出："秦始皇帝元年正月，岁星日行廿分，十二日而行一度，终岁行卅度百五分。"表明这时已经将一度划分为 240 分了，这显然应该是人们使用度的单位远在此之前的一个证据。只有在产生了度的单位以后相当长的时间人们才有可能根据天文学的发展的需要将度进一步细致划分为更小的单位，看来是不应有什么疑问的。这一记述似乎也表明当时已经使用了精度较高的天文测角仪器，它







似已成为人们推断早在秦代以前就已存在精密的天文仪器——浑仪的理由。[①]1977 年在安徽省阜阳市的一座西汉古墓中出土了两只漆器圆盘，其中一只圆盘上沿圆周分别标有二十八宿的宿度值，虽然只列出了整数度数，但其数据与唐代《开元占经》中所引西汉刘向编著的《洪范传》中列出的古宿度值基本上是相同的，可以认为这些宿度值是在西汉以前测定的，而建立度这一角度单位则必然会更早。通常认为早在春秋时代的中期（约前 600 年）人们已经能够使用圭表（一种测量中午时阳光下影长变化来确定节气的天文仪器）来确定冬、夏至的日期了，这也就相应地确定了回归年的长度。而被认为是创制于战国时代的六种古历（黄帝历、颛顼历、夏历、殷历、周历、鲁历）经研究均肯定为四分历，即其回归年长度均取为 $365\frac{1}{4}$ 天，根据太阳经一回归年的运动又回到恒星之间差不多相同位置的规律，人们就很自然地将天空中的一周划分为 $365\frac{1}{4}$ 度，使太阳每天在恒星之间移动一度，这对推算太阳在恒星之间的位置变化无疑是方便的。当然，由于人们当时并未认识到在一年中不同日期太阳的运动速度也是有快慢的，这种周天分度的方法是和当时人们的天文知识相应的。认为它产生在战国时代前后看来是不会有什么问题的。

## 二、角度单位的细致化

为满足精确测量的需要，也为了能分辨两颗相距很近的天体在位置上的微小差别，人们开始将度划分为更加小的单位。上面已经提到，在马王堆帛书《五星占》中表示行星的运动情况时是将一度划分为 240 分，虽然帛书中涉及度的奇零部分都是采用了这种划分方法，但它却并未能得到人们的普遍采用。在《淮南子・天文训》中就有岁星（即木星）“日行十二分度之一，岁行三十度十六分度之七”、镇星（即土星）“日行二十八分度之一，岁行十三度百一十二分度之五”的叙述，讲到月亮时也有：“月，日行十三度七十六分度之二十六。”在《史记・天官书》中也有类似的叙述。它们都是在不同的场合分别用不同分母的分数来表示度以下的奇零部分的。联系到以后的一些历法中也是用不同分母的分数来表示各种数据的度以下奇零部分的，有的分母数值大得惊人，这与古代天文仪器较低的观测精度水平是极不相称的，我们有理由认为这种将 1 度划分为数百甚至成千上万分的做法肯定不具有实测上的意义。有关数据可能不过是人们通过长期的观测得到某一天体在一段时间内的总运动量后通过运算而得到的，它们不能作为将一度划分为更小单位的依据。马王堆帛书《五星占》中将一度划分为 240 分的做法是否在实测中得到应用看来也




① 徐振韬：《从帛书五星占看先秦浑仪的创制》，《中国天文学史文集》，科学出版社，1978 年。

是值得怀疑的，但这并不妨碍我们在前面推断度这一角度单位建立远早于西汉的叙述，与秦代以前可能出现了浑仪也无矛盾。

谈到与实测有关的将一度划分为更小单位的最早确凿记述见于《汉书·天文志》：

> 日行不可指而知也，故以二至二分之星为候。日东行，星西转。冬至昏，奎八度中；夏至，氐十三度中；春分，柳一度中；秋分，牵牛三度七分中：此其正行也。

这里叙述的秋分时的昏中星是牛宿的三度七分，通常认为它是将一度划分为十分，三度七分也就相当于3.7度。同样的划分方法也见于《续汉书·律历志中》，据记述，在东汉永元十四年曾对官方的漏刻制度进行过一次改革，在论述改革的必要性时就谈到："漏刻以日长短为数，率日南北二度四分而增减一刻。"这里的二度四分同样地相当于2.4度。按照当时人们的认识，黄道与赤道的交角为二十四度（以后我们将要讲到这一数据已具有相当高的精度），而冬至和夏至的日长相差二十刻，平均太阳每向南或向北移动2.4度就相差一刻，人们也就据此来确定一年中昼夜长短的变化从而在适当的时候就改变昼刻与夜刻的分配情况。这种将一度划分为十分的做法在古代的文献资料中并不多见，但由于其采用的十进制，运用在有关的计算中还是比较方便的，在古代天文观测仪器上人们仍然可以看到它的存在。在南京中国科学院紫金山天文台所保存的明代正统年间制作的浑仪、简仪的规环上都是将一度划分为十个相等的部分，看来这与元代著名天文学家郭守敬在天文学数据上采用以10的乘方进位的方法有关，明代仪器上继承了这一做法。这种将一度划分为十分的方法与数字的十进位是一致的，相当于现今读数到小数后一位，不需进行计算就能知道度的奇零部分的大小，是有一定的优越之处的。





在我国古代天文测量或有关天文数据的表示方法中通常是在度的数值后用少、半、太并配合强、弱等字眼将其值可以精确表示到$\frac{1}{12}$度。在《续汉书·律历志下》所收录的东汉四分历中就记述有：

> 其余四之，如法为少，二为半，三为太，不尽，三之，如法为强，余半法以上以成强，强三为少，少四为度，其强二为少弱也。

这段话的意思是在进行除法运算后如其商为度数，将其余数乘以四，再除以除数，得到一就是少，二为半，三为太，它们显然分别对应于度的$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{2}$、$\frac{3}{4}$。所得到的余数再乘以三，依然除以除数，得到一就是强，它显然相当于度的$\frac{1}{12}$，所余如大于除数的一半也视作为强，显然三个强累加就得到少，四个少累加就得一度，而两个强相



加就称为少弱，弱的定义实际上也就是小了$\frac{1}{12}$度。这样少、半、太与强、弱配合使用就有了将一度划分为12个等份的全部名称：强（$\frac{1}{12}$度）、少弱（$\frac{2}{12}$即$\frac{1}{6}$度）、少（$\frac{3}{12}$即$\frac{1}{4}$度）、少强（$\frac{4}{12}$即$\frac{1}{3}$度）、半弱（$\frac{5}{12}$度）、半（$\frac{6}{12}$即$\frac{1}{2}$度）、半强（$\frac{7}{12}$度）、太弱（$\frac{8}{12}$即$\frac{2}{3}$度）、太（$\frac{9}{12}$即$\frac{3}{4}$度）、太强（$\frac{10}{12}$即$\frac{5}{6}$度）、1度弱（$\frac{11}{12}$度）和1度整。只要将这些名称加在整数度数的后面就表示该度数的奇零部分，但弱在某一整数度数后则表示比该度数小$\frac{1}{12}$度。上述记述中“余半法以上以成强”表明在将度划分为更小单位时采用了与现代近似运算的四舍五入原则类似的做法。李约瑟在其所著《中国科学技术史》一书中介绍了日本天文史家上田穰对中国古代这种做法的理解，即将度、弱、半、少、强、少强、半弱、半强、太、少弱分别解释为整度数、比所列度数小$\frac{1}{8}$度、半度、$\frac{1}{4}$度、$\frac{1}{8}$度、$\frac{5}{16}$度、$\frac{3}{8}$度、$\frac{5}{8}$度、$\frac{3}{4}$度和$\frac{3}{16}$度。其中缺了太弱和太强，而且各个名称所表示的度的奇零部分是不等间距的，如果将强、弱分别视为$\frac{1}{8}$度和小$\frac{1}{8}$度，则太弱和太强则分别为$\frac{10}{16}$度和$\frac{14}{16}$度，即$\frac{5}{8}$度和$\frac{7}{8}$度（即比1度小$\frac{1}{8}$度），就与半强和弱所表示的重复了。它与《续汉书·律历志下》中的叙述也是大相径庭的，故以上的理解与实际情况肯定是不符合的。只有将其视为将1度等分为12份才是合情合理的。这种做法开始于何时，我们在古代的文献资料中尚未找到有关线索，但根据在《续汉书·律历志下》中所引东汉四分历列举二十四节气时太阳与北天极的角距离和昏、明中星时已大量采用这种表示方法的情况，可以知道它在东汉时已被广泛应用于天体位置的测量工作中了。在唐代《开元占经》中所列出的《石氏星经》的有关数据也有少、半、太的字样，表明在这些数据的观测年代已有将一度划分为四等份的做法。虽然《石氏星经》数据的观测年代目前尚无定论，但各种说法中均无认为它们是在西汉后观测得到的，可以认为这种分度方法的产生最晚是在西汉，而且开始时是将一度划分为四等份，这是人们将一个整体进行划分采取两次二等分最简便的原始做法，以后才发展为用强、弱将每等份再划分为三等份形成每度分为12等份的格局。这种方法在我国古代沿用了很长时间。到明末时，虽然西方天文学中的分度方法（即一周天360°，1°分为60′，1′又分为60″的做法）已经传入了中国，但在《明史·天文志一》中引录著名科学家徐光启所编制的《崇祯历书》中100多颗恒星的黄道经、纬度和赤道经、纬度时仍然采用了这种表示方法，可见其影响是十分

深远的。直到清代它才完全被西方的分度方法也就是现代所通用的角度单位的规定所代替。

## 三、名称与长度单位相同的角度单位

在用度作为角度单位的同时，中国古代还使用另一种名称类似于长度单位的角度单位，也就是使用丈、尺、寸这样的长度单位的名称来表示角度的大小。它们大量应用于天象资料的记录之中。在著名的马王堆帛书《五星占》中就已经有"有小星见太白之阴四寸以入，诸侯有阴亲者，见其阳三寸以入，有小兵"，"小白出大白之左，或出其右，去三尺，军小战"，"天枪在西北，长可数丈"的记述，丈、尺、寸都出现了，但这里并不是具体的天象情况的描述而是一些星占文字。在《史记·天官书》中这样的记述也不少见。《汉书·天文志》中的天象资料记录中有"（孝景）后元年五月壬午，火、金合于舆鬼之东北，不至柳，出舆鬼北可五寸"，"黄龙元年三月，客星居王梁东北可九尺，长丈余，西指，出阁道间，至紫宫"之类的叙述，在以后史籍的天文志中类似的记述屡见不鲜。通常认为，度作为角度单位一般总在比较正规的场合使用。例如用浑仪测量得到的二十八宿宿度值，某一天体的入宿度、去极度（这两个量的有关情况在下一节中就要谈到）、北天极的地平高度等都是以度为单位的。然而在有的场合度也常用来表示运动的角距离，在描述日月五星的运动情况时就经常出现用单位时间或一段时间内运行多少度来表示其速度或位移量。在《明史·天文志三》中甚至用它来描述彗星的运动情况："（成化）七年十二月甲戌，彗星见天田，西指。……己卯，光芒长大，东西竟天，北行二十八度余。"除此以外也偶尔用度来表示两个天体之间的角距离。在《续汉书·天文志上》中就有："（建武）三十一年七月戊午，火在舆鬼一度，入鬼中，出尸星南半度。"《旧五代史·天文志》中也有："乾化二年五月壬戌，荧惑犯心大星，去心四度，顺行。"《宋史·天文志九》中有："景德三年四月戊寅，周伯星见，出氐南骑官西一度。"但这在史书中毕竟是十分少见的。在史书中大量的天象资料记录所涉及的天体之间的角距离都是用丈、尺、寸为单位来表示的。它还常被用来表示彗星的长度、流星尾迹的长度或某种天象发生的地平高度。与用度所表示的角度大小常要通过使用浑仪等天文仪器进行正规的测量不同，角度的丈、尺、寸数值可能只是通过简陋的观测工具甚至是只用目视估计得到的。我们通过在《元史·天文志二》中的一些叙述是不难对度和丈、尺、寸两种不同的角度单位之间的区别有所认识的，在谈到至元三年五月出现的彗星时，有段叙述说："丁卯，彗星见于东北，如天船星大，色白，约长尺余，彗指西南，测在昴五度。"明确表明彗星的长度是目视估计的大致结果，用尺作为单位，其位置是用仪器测量得到的，故以度作为单位。类似的记述在《元史·天文志》中还有一



些，充分显示了两者的不同。但是它们既然都是角度单位，它们之间有怎样的换算关系呢？这正是人们有兴趣要解决的问题。

## 四、两种角度单位的关系

上述两种角度单位的换算关系在我国古代早期的文献资料中尚未找到有明确的记述。只是在明代《观象玩占》中才有“一尺为一度”的记述，将尺与度等同看待。如果真是如此，那为什么要用不同的名称呢？看来要搞清事实究竟如何还需要进一步探讨。因为在有关文献资料中谈到：“客星出天关之东南，可数寸。”(《续资治通鉴长编》)为确定这颗客星的位置就必须对一尺相当于多大的角度有一个明确的概念。薄树人等人根据在宋代史书上用尺、寸单位表示的行星与恒星之间的角距离共四条记录中的五个数据与用现代方法计算当时行星位置表比较后再取平均，得到平均一尺为 1°.24 即 1.26 度，大体上八寸相当于古代的一度。又根据《史记·天官书》中有“同舍为合。相陵为斗，七寸以内必之矣”、《汉书·天文志》中有“二星相近者其殃大，二星相远者殃无伤也，从七寸以内必之”的叙述，认为中国古代天文学家将七寸视为两天体之间距离的一种星占标准，也就是说两天体之间的距离在七寸之内的则称为犯，就要进行星占活动，以预测将要发生的事情。联系到明代《七政推步》中将一度作为五星与恒星或五星之间凌犯的依据的情况，则进一步认为七寸就相当于一度。[①] 这与江涛根据清代黄鼎编撰的《管窥辑要》所载二十八宿恒星与黄道相距的尺、寸数推算得到的一尺相当于 1°.5 的结果也是比较接近的。其后王健民又根据《开元占经》中“尾第三星旁一小星为神宫，相去一寸”的记述，对神宫星的位置做了大量的认证工作，最后得到 1 尺与 1.5 度相当的结果，与上述七寸与一度相当的结果也是相符的。




刘次沅 1987 年专门对丈、尺、寸单位与度的换算问题进行了探讨[②]。文中利用了中国古代从汉代至元代共 143 个行星与恒星相对位置的尺、寸记录，采取统计分析的方法得到 1 尺＝0°.93±0°.04 的结果。如果在统计分析中不考虑常数项，则得到 1 尺＝1°.16。据此他认为角度单位的一尺基本上就相当于一度。在研究中刘次沅通过对记录中不同距离的数据的分析，发现记录中的距离较近者其得到的一尺所对应的角度也较大，认为这除了由于各种偶然误差对恒星、行星位置的影响可能对距离较近者相对比较大这一原因外，视觉上的误差可能也是一个因素。实际上，刘次沅在不考虑常数项的情况下(在求尺与度的对应关系时似以不考虑常数项为宜)得到的结果与薄树人等人得到的一尺相当于 1°.24 结果相去并不很远，只是他

---

① 薄树人等：《中国天文学史文集》，科学出版社，1978 年。

② 刘次沅的讨论见《天文学报》，1987 年，第 28 卷，第 4 期，第 394 页。

们分别根据与记录本身并无直接关系的一些情况的分析做出了完全不同的判断和结论。刘次沅的研究中采用了相当多的古代天象记录的数据，在剔除了一些有明显错误的数据后实际采用了 138 个数据，与薄树人等人的研究中只采用 4 个数据相比，其结果的精度应是比较高的，相对来说也更为可靠。然而由于其所采用的数据所对应的时间相当长，它们是在 1 000 多年中由不同的人通过目测估计得到的，在这过程中很可能会出现一些变化而对结果的可靠性有一定的影响。估计这一影响不会太大。根据以上情况我们似乎可以这样认为，以丈、尺、寸为角度单位的做法只是一种粗疏的角度表示方法，其误差应是比较大的。由于在史书上尚未发现有确凿无疑的记述，天象记录中的观测数据精度又相当低，要精确地得到它们分别相当于多大的角度是比较困难的。根据现有的研究，可以得到一度约与 0.7 尺到 1 尺相当的大体上的概念。当然，这也并不完全排除通过进一步研究得到更为确切结论的可能性。

## 五、指

与丈、尺、寸这样的角度单位类似，我国古代也早就使用了一种被称为指的角度单位。在著名的马王堆帛书《五星占》中在记述金星的有关星占文字时就有："月与星相遇也……三指有忧城，二指有……"表明指在当时是与度和丈、尺、寸同时被使用来表示角度的大小的。另外在唐代《开元占经》所引《巫咸占》中也有金星与月亮在南北方向上的最大角距离为五指的叙述，这显示了指作为角度单位可以追溯到更早的时代。在史籍中的天象记录很少有用指作为角度单位的，但它在航海中观察天象来进行天文导航时却有相当广泛的运用，在明代前期，大航海家郑和七下西洋后流传下来两种关于中国古代航海术的文献资料：《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番国》（也简称《郑和航海图》）和《顺风相送》。前者载于明末茅元仪所编撰的《武备志》中，后者则是一本天文导航的专门著作。有关的情况我们在后面谈到航海天文学时还会涉及，这里也就不拟详述了，但这两种资料中述及恒星在海平面上的地平高度时都是以指作为角度单位的。在《郑和航海图》中的牵星图上就注有"到沙马姑山看北辰星十四指平水"、"东边织女星七指平水"等各种文字，在《顺风相送》中也有"庚针离华盖双星八指，辛酉二十更，辛戌五十更，乾亥五更，看华盖双星七指三角，取色兰山"之类的叙述。除此之外，在明代黄省增所著《西洋朝贡典录》中也有"其国在小帽西南可二千里，由彭加剌而往，取北辰四指有半，又取北辰三指有半，又取北辰二指一脚之半，又取北辰二指半脚，又取北辰一指三脚之半，又取北辰一指三脚……"的记述，将海船在从北向南航行时北极星地平高度的变化以指、脚为单位依次列出。这里的脚可能与上面引文中的角是相同的，均应是



比指小的单位。明代李诩所撰《戒庵老人漫笔》中还介绍了用于航海的天文导航用具——牵星板的情况："苏州马怀德牵星板一副，十二片，乌木为之，自小渐大，大者长七寸余，标为一指、二指，以至十二指，俱有细刻，若分寸然。又有象牙一块，长二寸，四角皆缺，上有半指、半角、一角、三角等字。颠倒相向，盖周髀算尺也。"这就证实了指、角确是航海中天文定位的牵星术中的基本单位。顾名思义，指的名称可能是源于观测者的手指。在精度要求不高的天文观测工作中人们在不具备或无需专用的天文测角仪器（如浑仪）的情况下最方便的就是用手来作为目视估测的标准。在《魏书·天象志四》中有这样一条记录："节闵普泰元年五月辛未，太白出西方，与月并，间容一指，战祥也。先是，去年十一月辛丑，月在太白北，不容一指。"这明显地表现了人们在用手指作为目视估测金星与月亮之间角距离的参照物的情况。当然，当手指与观测者眼睛之间的距离不同时这一参照物所表示的角度大小也不同，这就需要对上述距离作一规定。1976 年，由华南师范学院、中国科学院北京天文台、广州造船厂和上海海运学院四个单位的 11 人组成的"航海天文调研小组"对海南岛文昌县南岛大队的调查表明，当地的舟师用掌来表示星辰的地平高度，在观测时他们将右臂伸直，手指指向左侧，但小指向上指，大拇指向下指，当眼睛看过去大拇指端与海平面接触时，小指端对应于天空中的位置的地平高度就是一掌，依次量度上去就可知道任何天体位置的地平高度所对应的掌数。很可能指这一单位的产生也与此类似，例如用手指的宽度（前引《魏书·天象志四》的叙述就是如此）或某节手指的长度都可以作为相应的尺度从而得到对应的用指表示的角度大小。当然，这样的表示方法是十分粗略的。"航海天文调研小组"根据《郑和航海图》中用指表示的北辰的地平高度值，考证出北辰就是今天的北极星——小熊星座 α 星，并得到一指相当于 1°.9 的结论。这恰与他们根据《开元占经》中所引《巫咸占》所述金星与月亮在南北方向上的最大角距为五指推算出的结果相同。但由于用指作为角度单位本身就不很精确，看来这也只能被认为是大体上的效果，难以作为最后的结论。




值得一提的是，"航海天文调研小组"在海南岛文昌县保线大队调查时了解到当地的船工也用尺来测量星辰的地平高度。具体的做法是手臂伸直，竖直持尺，使尺的下端和海平面在同一视线上，就可用该尺来目测星辰的地平高度的尺寸数。在我国民间珍藏的用以记录航海中实践经验的针路簿上就有用尺、寸、分表示的北极星地平高度的数据，它们可能就是这样得到的。1973 年在福建泉州出土了一艘宋代海船，人们在其舟师工作的处所——舵尾舱发现了一把竹尺，其一半分为五格，另一半没有刻度，它可能就是专门用来观测星辰的地平高度的，在观测时人们握住尺上无刻度的部分，在有刻度的部分来观察星辰从而得到其地平高度的尺寸

数。如果用它来估测两个天体之间的角距离也是完全可以的，我们有理由认为中国古代人们用丈、尺、寸来表示天空中不同方向之间的夹角大小与此可能有某些相似之处。由于人的手臂有长短，用丈、尺、寸来表示角度的大小可能会因人而异，而人的手指尺寸也各有不同，用指来表示角度因人而异的因素就更为复杂，它们都不可能精确反映角度的真实大小，但在精度要求不高的情况下，对不同的观测者来说得到的结果也不会过分悬殊，另外人们还可以用天空中某两颗恒星之间的角距离作为标准来进行校验，从而采取一定的方法使不同的观测者得到的结果也有可能十分接近，这也是这种不精确的方法得以长期存在的原因之一。由于这种表示方法毕竟比较粗糙，要精确地确定天体在天空中的位置必然需要采用度这一基本单位来表示其在天球坐标系中的坐标。

## 第四节　世界上最早的赤道天文坐标系

### 一、赤道天文坐标系的出现

随着天球概念的形成，人们对北天极和沿天赤道方向排列的二十八宿位置的认识，再加上角度单位的建立，人们也就有可能对天体在天空中的相对位置予以确定，赤道天文坐标系的出现也就是顺理成章的了。其出现的年代现在看来已是难以考证了，但在《周礼·春官·保章氏》中讲到保章氏的职责有“掌天星以志星辰日月之变动”的叙述，这与坐标系的建立已经是比较接近了。在唐代瞿昙悉达所辑录的《开元占经》中保存有标有“石氏曰”字样的100多颗恒星的入宿度和去极度数据（对二十八宿距星则给出相应的宿度值和去极度，有关的定义本节中将会谈到），它们通常被认为是战国时代魏国天文学家石申夫所编制的《石氏星经》中的有关数据。由于这些数据所对应的观测年代目前还未有定论，并不能排除它们是后来人们通过实测对其进行修订的可能性（在后面我们谈到中国古代星表时还会对这个问题做详细的讨论），但即使如此它也可以从一个侧面反映了早在战国时代就建立了赤道天文坐标系的可能性，当时的天文学家们利用它得到了一系列的恒星位置坐标值，后来被更为精确的相应数据所代替。由于在《汉书·天文志》中已有昏中星的有关坐标的论述，《汉书·律历志下》中所引《三统历》中也有二十八宿的宿度值，而在汉代的各种文献中均未述及这种天体位置表示方法的建立情况，它产生于汉代以前应该是毫无疑义的，认为它出现在战国时代看来还是可信的。

为了清楚地了解中国古代赤道天文坐标系的情况，有必要事先对这一在近现代天文学中应用最为广泛的坐标系有所了解。它是以北天极为基本点、以天赤道



为基本圈的球面坐标系(图 3—1)。

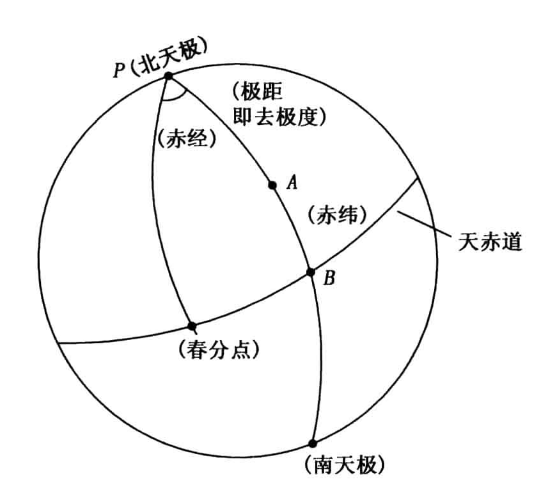



图 3—1　赤道天文坐标系示意图

为了确定天空中某一天体 $A$ 的坐标,可以通过北天极 $P$ 和该天体 $A$ 做半个大圆与天赤道相交于 $B$ 点,这样半个大圆在天球面上的位置以及天体 $A$ 在该半大圆上的位置就可以唯一地将该天体在天空中的位置确定下来了。前者可由 $B$ 点在天赤道上的位置确定下来,而要确定 $B$ 点就要在天赤道上确定一个量度的起算点,人们把它选为春分点(即太阳周年视运动轨道黄道与天赤道的交点之一,太阳从此点开始沿黄道在天赤道北运动),并将从春分点向东量度到 $B$ 点的角距离称为该天体的赤经,常用希腊字母 $\alpha$ 表示。显然在半个大圆 $PAB$ 上的所有天体的赤经均相同。要将它们区分开来,人们又将从天赤道到该天体之间的角距离 $\widehat{BA}$ 称为天体 $A$ 的赤纬,并用希腊字母 $\delta$ 表示。如天体在天赤道北其 $\delta$ 为正值,在天赤道南 $\delta$ 则为负值,显然天体的赤纬确定了它在相应的大圆弧上的位置。大圆弧的位置确定后,天体在大圆弧上的位置又确定了,那么该天体在天空中的位置也就完全可以确定,故天体的赤经、赤纬两个坐标可以客观地描述天体在天空中的位置情况。当然,这里所说的位置坐标是相对于北天极、天赤道和春分点的,必须要事先知道它们的位置情况。对于某一个固定的观测地点而言,北天极和天赤道在天空中的位置是基本上固定的,当某一与赤道天文坐标系相应的天文仪器按照某一固定地点的情况安装停当后,只要调节仪器上与天赤道相应的度盘使其赤经的量度起点与实际的春分点位置相应,根据任何天体的赤经、赤纬值就可以方便地用仪器在天空中找到它,而不像与其他坐标系相应的仪器不是要进行繁复的调整就是要通过麻烦的计算才能做到。所以在近现代天文学中除了某些特殊的场合外这种天文坐标







系是应用得最为广泛的。

除了在坐标的表示形式上存在差异外，中国古代的赤道天文坐标系几乎与近现代通用的完全相同。它的两个坐标分别是入宿度和去极度。古代的人们在二十八宿中各选取一颗具有代表性的标准星，称其为距星，分别通过北天极和各距星做大圆弧与天赤道相交，其交点就可作为入宿度的量度起点，而从与某一宿距星相应的交点到与下一宿的相应交点之间的角距离就是该宿的宿度（也称为距度）。当通过某天体和北天极的大圆弧与天赤道的交点位于某一宿的宿度范围内时则称该天体入某宿，该交点到该宿距星的相应交点之间的角距离就是该天体的入宿度，读作“入某宿若干度若干分”。显然入宿度与赤经的差别只在于量度的起点不同，前者是相应宿距星在天赤道上的投影，后者为春分点。只要知道了某一宿距星的赤经值就能够方便地从各宿的宿度值知道各距星的赤经，也就可以从某一天体的入宿度方便地归算成赤经了。故可以认为入宿度与赤经是基本上相当的。至于去极度则是天体与北天极之间的角距离，也即图 3－1 中$\widehat{AP}$弧所对应的角度，它显然是该天体赤纬的余角，即 $90°-\delta$ 值。知道了天体的去极度则其赤纬也就不难得到。有时中国古代也用“赤道内外度”即天体在天赤道之北或南的度数来代替去极度表示天体在南北方向上的坐标，这时就与天体的赤纬完全等同了。根据以上情况我们可以看到中国古代的赤道天文坐标系与近现代天文学中所用的并没有本质上的差别。

需要指出的是，上面述及的中国古代赤道坐标“入某宿若干度若干分”的宿已与二十八宿原来固有含义有所不同。后者与近现代天文学中的星座概念比较接近，它实际上是在某一天区范围内的一群星的集合，各宿均有相应的成员星，每宿也就相当于一个星官，它所给出的是一个大致的恒星区域范围，而不具备在测量天体精确位置时作为坐标量度起点的功能。我们在古代文献中看到“日在营室”（《月令》）、“月犯心星”、“金、木、水三合于张”（《汉书·天文志》）、（岁星）“与营室晨出东方”（马王堆帛书《五星占》）、“客星出牵牛”（《续汉书·天文志》）等天象记录时只能知道这些天象发生在天空中的某一个大致的恒星区域范围，而难以得到其精确位置。而前者所说的宿实际上已经是指在天赤道上从某宿距星的投影到下一宿距星的投影之间一段范围，它与现代天文学中以赤经的大小划分的范围是相当的。这样如果二十八宿中的某一成员星在天赤道上的投影是在该宿距星相应投影的西边，它实际上就是“入”前一宿了。同样后一宿的某些成员星也可能是“入”本宿的。也就是说，这里的宿已与原来二十八宿的划分具有不同的含义，不过是因为作为位置测量的参照点的距星分别取自各宿，故仍借用其宿次的名称而已。



## 二、中国古代独有的天文坐标系

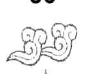
在世界上各古老民族中，埃及人、印度人、希腊人和阿拉伯人在天文学中都使用的是黄道天文坐标系，那么为什么中国古代却产生了赤道天文坐标系呢？关于这个问题，英国著名的科技史专家李约瑟在其所著的《中国科学技术史》一书中有一种较有说服力的看法，这里不妨对其观点做一番解释。古代的先民们为了农业生产决定农时的需要就必然要通过对天文现象的观察来决定季节的变换情况从而制定原始的历法，这就是我们在后面将要谈到的观象授时的有关内容，而观察不同的天文现象来确定季节也就会带来完全不同的副产品。古埃及人等古老民族是通过观测恒星的偕日出或偕日没来确定季节的，也就是说人们所注意的是在太阳出没的前后在地平线上出没的恒星，它们好像是伴随着太阳升起或下落的。由于太阳在恒星之间的位置是以一年为周期而变化的，不同的季节也就能观察到不同的恒星偕日出或偕日没，人们也就可以据此来确定季节变化。最著名的一个例子就是古埃及人通过观察天狼星的偕日出来预报尼罗河的泛滥日期（也即雨季的开始）。由于观察恒星的偕日出、没时恒星和太阳都接近地平线，人们就比较容易注意到它们的出没方位上的差异从而逐步建立起太阳在恒星之间南北方向上变化的概念，而这时太阳和相应恒星之间的距离并不太大，人们也就能从它们的相对位置认识到太阳运动的轨迹即黄道。由于月亮和五大行星的运动基本上也都在黄道附近，人们也就通过某些恒星与黄道的相对位置情况逐步建立起最早的黄道天文坐标系。由于用它来观察太阳、月亮和五大行星的运动是比较方便而易于精确，这种天文坐标系就一直为人们所使用，中世纪时的欧洲人就仍然广泛地采用它。中国古代的先民们为了确定季节的变化最早采用了观测昏、明中星的方法。也就是在太阳出没的前后观察当时恰好位于正南方天空中的恒星，这显然要建立起北天极和相应的方向概念。在观察的过程中人们比较注意的也就是太阳和恒星在东西方向上的角距离，从而对太阳在恒星之间从西向东的周年视运动有所认识，而这方向是与天赤道的走向是一致的，于是就与天赤道建立了联系，进而根据恒星在东西方向上位置的排列情况建立起赤道天文坐标系。在中国古代虽然也早就产生了黄道的概念，但人们并不用黄道来作为观察天体位置的依据，即使是观测太阳的周年视运动也是沿天赤道方向的，直到东汉时才正式改为沿黄道方向观测。由此看来，赤道天文坐标系在中国古代的产生也就丝毫没有什么可奇怪的了。

由于日、月、五大行星的运动都是在黄道上或黄道附近运动的，中国古代建立了赤道天文坐标系并从天赤道方向上来观察这些天体的运动就显得比较不方便，对它们的运动规律的认识，例如对太阳周年视运动不均匀性的认识在时间上也就




相对地较晚，由于赤道天文坐标系的建立，北天极和天赤道也就成为观察各种天体位置的标准，这样对这些标准的位置变化也就难以观察到了，而且由于天体位置的坐标之一入宿度实际上是两颗相距不太远的恒星之赤经差，岁差现象对恒星赤经的影响在入宿度数据中大部分被互相抵消了而难以被发现，所以岁差现象的发现在我国古代也比古希腊要晚了数百年。这些确实是我国古代使用赤道天文坐标系所造成的结果。然而这只是问题的一方面。我们上面已经讲到过，赤道天文坐标系有其相对合理的地方，在地面上某一观测地点看来，其作为依据的北天极和天赤道的位置是不变的，只要在天赤道上确定东西方向上的量度起点它就可用来表示在任何方向上天体的位置，在应用上十分简便，尤其适合在各种天文仪器上采用，故近现代天文学中除了某些特殊需要外，它被运用得最为广泛。中国古代以入宿度作为天体位置的一个坐标，其东西方向上的量度起点可有 28 个，在使用中尤为方便。中国古代的天文测角仪器基本上都是采用了这一坐标系，这在世界上是最早的。西方天文学中风行同样类型的仪器始于著名的丹麦天文学家第谷(1546—1601)。16 世纪后期西方传教士来华后东西方的交流日趋频繁，人们才了解到元代著名天文学家郭守敬创制的简仪上具有的赤道式装置就已经比第谷早了三百多年，并为此而感到吃惊，认为中国古代在这一方面远远走在西方天文学的前头。李约瑟甚至认为郭守敬就是赤道式装置的创始人，实际上远在郭守敬以前，至迟在汉代，中国的天文学家使用的浑仪上就已经具备了赤道式装置的观测系统，这比第谷早了一千多年了。由此我们也可看到，中国古代赤道天文坐标系的创立和应用在世界天文学的发展史上具有多么重要的地位。





## 第五节　借助北天极的准黄道天文坐标系

### 一、中国古代的黄道概念

上节中提到，中国古代早就产生了太阳周年视运动的轨迹——黄道的概念。《汉书·天文志》说："日有中道，月有九行。中道者，黄道，一曰光道。光道北至东井，去北极近；南至牵牛，去北极远；东至角，西至娄，去极中。""日之所行为中道，月、五星皆随之也。"对黄道的情况做了十分清楚的描述。而在《续汉书·律历志中》中收录了东汉历法学家贾逵关于历法的议论，其中讲到："石氏星经曰：黄道规牵牛初直斗二十度，去极二十五度。"似乎表明在战国时代人们就早已形成了黄道的概念，并进行了有关的测量。然而人们当时并未将黄道作为确定天体在天空中位置的参照依据，观察天体的位置情况依然沿天赤道方向进行量度，即使是对沿黄



道运行的太阳和在黄道附近运行的月亮、五星也是这样。这种情况到了东汉时才有了改变。也是在《续汉书·律历志中》里贾逵关于历法的议论中谈到：

> 臣前上傅安等用黄道度日月弦望多近。史官一以赤道度之，不与日月同，于今历弦望至差一日以上，辄奏以为变，至以为日却缩退行。于黄道，自得行度，不为变。

表明当时已经认识到用黄道来观察太阳、月亮的运动情况是比用天赤道有利的道理。而认识到用黄道和天赤道来观察日月的运动情况会得到不同的结果可以追溯到西汉。就在上面所引贾逵的这段叙述后面还指出：

> 案甘露二年大司农中丞耿寿昌奏，以圆仪度日月行，考验天运状，日月行至牵牛、东井，日过一度，月行十五度，至娄、角，日行一度，月行十三度，赤道使然，此前世所共知也。

明确谈到早在西汉甘露二年(前52)天文学家耿寿昌就发现如沿天赤道方向观察日月的运动会产生每天运行角度不同的现象。当时人们并没有认识到太阳、月亮的运动存在不均匀的现象，而认为它们每天都运行相同的角度。他们将所观察到的日月运行不均匀的现象归结为是由沿天赤道方向观察所引起的，可以说基本上是正确的。因为当时的春分点、秋分点分别在娄宿、角宿附近，夏至点和冬至点分别在井宿和牛宿附近，太阳、月亮在这些位置上沿天赤道方向和沿黄道方向观察的效果上的差别是与上述情况大体符合的。但是耿寿昌的这一正确认识并没有引起人们应有的重视，人们依旧沿天赤道方向来观察太阳、月亮的运动，这才有东汉时贾逵对此所做的一番议论，明确提出了"赤道者为中天，去极俱九十度，非日月道，而以遥准度日月，失其实行故也。""如言黄道有验，合天，日无前却，弦望不差一日，比用赤道密近，宜施用。"不但对天赤道不宜作为观察日月运动的依据的原因说得很清楚，而且还提出了用黄道来代替它的建议。为了改变"星图有规法，日月实从黄道，官无其器，不知施行"(《续汉书·律历志中》)的情况，在东汉永元十五年官方天文机构还专门制造了一台具有黄道环的浑仪——黄道铜仪，使黄道正式为确定天体在天空中的位置发挥作用。在《续汉书·律历志下》引用的东汉四分历中也最早列出了二十八宿对应于黄道的宿度数据，在用黄道建立相应的天文坐标系的道路上前进了一大步。然而中国古代所使用的这种坐标系与近现代天文学中所用的黄道天文坐标系是有区别的。

## 二、准黄道坐标系的特点

近现代天文学中所用的黄道天文坐标系与赤道天文坐标系在外观上是相似的。实际上我们只要将图3－1中的天赤道和南、北天极分别用黄道和南、北黄极

来代换，它就成为黄道天文坐标系的示意图了。所谓黄极就是黄道的两个几何极，它们分别是在天球上黄道南、北与黄道相距各90°的两点，实际上也就是地球绕太阳公转轨道平面的法线方向在天球上的投影，通过它们和某一天体做半个大圆与黄道如相交于$B$点，则从春分点从西向东量度到$B$点的角距离就是该天体的一个黄道坐标——黄经，有时也称为黄道经度。而该天体到$B$点的角距离则是该天体的另一黄道坐标——黄纬，也称为黄道纬度。如天体在黄道以北，黄纬取正值，在黄道以南则取负值。显然，只要知道某一天体的黄经、黄纬，根据当时黄道在天空中的位置情况也就能确定它在天空中的位置了。

中国古代没有建立起黄极的概念，人们在表示天体相对于黄道的位置时还是借助于北天极的。也就是说，要确定某一天体$A$的黄道坐标，就通过南、北天极和该天体做一大圆弧与黄道相交于$B$点，从该天体到$B$点的角距离就是其一个黄道坐标——黄道内外度，天体在黄道以北则称为黄道内，在黄道以南则称为黄道外，天体的黄道内外度常表示为“黄道内(或外)若干度若干分”的形式。天体的另一个黄道坐标也称为入宿度，与中国古代的赤道天文坐标系类似，它实际上是以$B$点在黄道上的位置来表示的，其量度的起点也是借助于二十八宿的距星来确定的，即通过南、北天极和相应距星所做大圆弧与黄道的交点就是相对于黄道的入宿度的量度起点，相邻的各个量度起点之间的角距离也就是二十八宿相对于黄道的宿度(或距度)值，为区分起见常称它们为黄道宿度(或黄道距度)，而将相应于赤道天文坐标系的称为赤道宿(或距)度，也简称为宿度。由相应的量度起点从西向东量得的相对于黄道的入宿度常被表示为“入黄道某宿若干度若干分”的形式，以与赤道天文坐标系中的有所区别。二十八宿的赤道宿度和黄道宿度数据最早出现在《续汉书·律历志下》所引的东汉《四分历》中，以后大部分历法中都列出了相应的数据。中国古代利用北天极来确定天体的黄道坐标，这是其与世界上各古老民族的黄道天文坐标系也就是与近现代天文学中的最大的不同之处，人们称其为准黄道天文坐标系。也有人称其为似黄道坐标系。这种坐标系虽然不如现代的黄道天文坐标系完善，但在我国古代对日、月、五星的观测工作中依然是发挥着重要作用的，它对认识这些天体的运动规律作出了贡献。它一直被使用到明代末年，在西方传教士来华以后就将西方天文学中的完善的黄道坐标系也介绍了过来，在《明史·天文志一》中列出了在著名科学家徐光启主编的《崇祯历书》中的109颗恒星的黄道经度、黄道纬度数据，表明当时已正式采用了与近现代基本相同的黄道天文坐标系了。实际上中国古代自隋唐以后就已和印度、阿拉伯及西域地区有相当频繁的交往，那些地区的天文学知识也陆续传播到我国的中心地区来，但可能是由于中国古代固有的赤道天文坐标系的地位相当稳固，其伴之以上述准黄道坐标系就已能相当完



善地满足天文观测工作的需要，故其他民族使用的黄道天文坐标系也就未能在我国古代得到传播，只有关于黄道十二宫的划分方法在中国古代天文学领域中得到了承认。

## 三、黄道十二宫的传入

所谓黄道十二宫是一种将黄道分段的形式，它是从春分点开始将黄道等分为12个部分，每一部分的范围为30°，就是一宫。分别用在黄道十二宫产生时各宫所对应的星座名称命名，当时春分点是在白羊座，故第一宫被称为白羊宫，其他十一宫依次为金牛宫、双子宫、巨蟹宫、狮子宫、室女宫、天秤宫、天蝎宫、人马宫、摩羯宫、宝瓶宫和双鱼宫。由于岁差现象，春分点每年要西移50″.2，使其现在的位置移到了双鱼座，故现在黄道十二宫的名称已与其位置所在的星座不对应了。由于太阳在黄道上运行1周就是1年，1年中又有12个月，这就相当于太阳在一个月中大体上移动一宫，用黄道十二宫来观察太阳的周年视运动情况显然是有利的。它最早产生于古巴比伦。在古巴比伦的楔形文字泥版上人们发现了塞硫古王朝时期的太阳运动表，表中的第四栏就是各月中太阳在黄道十二宫的位置，第三栏则是合朔时太阳在相应宫中的度数。这表明在公元前数百年古巴比伦人就已经能利用黄道十二宫来观察和推算太阳运动的情况了。古代的埃及、希腊和印度也都用它来表示太阳在黄道上的位置。很可能是其宫数与中国古代的十二次、十二辰相同，更有可能它们是同出一源的，黄道十二宫在中国古代是被人们所接受的。中国古代早就与世界上一些古老民族有交往，随着佛教的传入，佛经被翻译成汉文，黄道十二宫就在中国天文学中出现了，并通过一些文物流传了下来。最早的文献资料是隋代那连提耶舍所翻译的《大乘大方等日藏经》，其后唐代的多种佛经中均有述及。唐代开元六年，印度来华的天文学家瞿昙悉达奉诏翻译天竺《九执历》，对印度天文学做了系统的介绍，其中就叙述了以30°为一宫的黄道十二宫的划分方法。此外在敦煌壁画、辽代墓葬彩绘和金代寺庙大铁钟上都留下了黄道十二宫的形象。在唐代传入印度的《九执历》后，元、明代又传入了伊斯兰地区的回回历，在明代钦天监中还专门设立有回回历科，使回回历与中国本土固有的历法并用，推算各种天象的发生情况。据《明史·历志七》记述，回回历中推算日月五星的运动和位置时都采用了黄道十二宫这一表示方法。《明史·天文志一》中还列出了崇祯元年时黄道十二宫的起始点在天赤道和黄道上相对于二十八宿的度分数，其各宫的名称已不是与原先按其位置所在星座对应，而改用了中国古代十二次的相应名称。以上情况表明黄道十二宫传入中国后已经成为中国古代天文学的重要内容，它对用黄道来确定天体的位置提供了一种新的表示方法，是与相对于黄道的入宿度的表示方法




并行不悖的。

## 四、黄赤道坐标的转换

在同时使用赤道天文坐标系和准黄道天文坐标系的情况下，中国古代的人们就需要将某一个天体在一种坐标系中的坐标转换成另一个坐标系中的坐标。由于人们经常观测的天体位置变化都是在黄道和天赤道附近的区域内的，主要表现为在东西方向上的变化，这样人们更感兴趣的是对分别相应于天赤道和黄道的入宿度数据的互相转换，这只要知道由一种入宿度转换为另一种时应加上或减去改正(所谓黄道进退之数)就能够达到目的。要得到这一改正值最简单的方法是用浑仪直接进行观测。我们不妨称其为观测法。在使浑仪的赤道环、黄道环的位置与实际天空中的天赤道、黄道基本上对应以后，就可以观测需要转换坐标的天体，并在两环上分别读取相应的位置数据，从而得到两者的差值，即黄道进退之数。观测法虽然直观、易行，但由于它是通过知道了天体的两种入宿度以后再求其差值，显然已经失去了坐标转换的意义，而且由于需观测的天体有时离太阳太近而无法观测到，再加上天气条件的限制，就使其难以顺利达到目的。东汉著名科学家张衡在其所著《浑仪》一文中对此有批评："以仪一岁乃竟，而中间又有阴雨，难卒成也。"这是很有道理的。他在该文中提出了一种新的方法，我们可以称其为模型法。它是为克服观测法的缺陷而提出来的，其具体做法是首先制作一台叫作小浑的象征天的模型，呈球形，与现代的天球仪有点相像。上面分别有天赤道和黄道的标志，并分别标有 $365\frac{1}{4}$度的刻度。另取一竹篾，其两端穿孔，两孔之间的长度恰为小浑球面上大圆周长之半。将该竹篾的孔分别以针为轴固定在小浑上相应于南、北天极的标志点处，这样竹篾就与小浑的球面互相贴合了。竹篾的中部沿其中心线拗去一半，则就可观察到竹篾的中心线分别与天赤道、黄道标志线相交处的位置了。《浑仪》中记述："令篾半之际从冬至起，一度一移之，视篾之半际多少黄赤道几也，其所多少，则进退之数也。从北极数之，则去极之度也。"可见这种制作模型进行量度的方法可以十分方便地逐度给出相应的黄道进退之数，有效地提供两种入宿度互相换算的精细数据，还能给出黄道上各度位置与北天极的角距离。它不仅避免了观测法本身所存在的缺陷，而且因为它不存在仪器的安置误差，也不受观测者观测技术娴熟程度的影响，只受到小浑制作的误差情况的限制，考虑到浑仪本身也具有一定的制作误差，可以认为其精度要比观测法要高。在一定的程度上可以说它是当时比较理想的一种方法。

需要提出的是，在《续汉书・律历志下》所收录的东汉四分历中列出的赤道宿度数据分别附有"退二"、"进一"等字眼，在所列各节气时的太阳位置、昏中星、旦中



星的数据后也附有类同的字眼，通常认为这些就是黄道进退之数。然而通过对照不难发现，这些字眼对于二十八宿中的同一宿都是相同的，不管相应的数据在该宿的开始处还是结束处，也不管该宿的宿度的大小。将东汉四分历中所列赤道宿度与黄道宿度进行比较，我们就可以看到这些字眼是与它们的差别有关的，它似乎是如果在黄道上用赤道宿度进行标示则各宿的起点处应向前或向后移动的度数。例如在赤道上斗宿为 $26\frac{1}{4}$度，黄道上为 $24\frac{1}{4}$度，赤道上的大 2 度，牛宿就应进 2 度，但斗宿由箕宿延续下来是退 2 度，两者相抵，牛宿就不进不退。赤道上牛宿是 8 度，黄道上是 7 度，赤道上的大 1 度，而牛宿不进不退，故女宿就要进 1 度。依照相同原则就可推得各宿后所附的字眼，无不符合。它显然与张衡所著《浑仪》中所说黄道进退之数的意义不同，也不具有坐标转换的意义，由于东汉四分历中并未明确指出它就是黄道进退之数，大可不必将它们混为一谈。其在中国古代天文学中的作用尚有待进一步研究。

到了元代坐标系的转换有了突破性的进展。在元初著名的天文学家王恂、郭守敬等人所编制的授时历中多次反复运用了北宋著名科学家沈括创立的“会圆术”，配合运用了相似三角形各边长之间的比例关系，创造了一种将黄道上的角度数推算为相应于在天赤道上角度数的方法，也有推算黄道的各度所对应的赤道内外度的方法，这里的赤道内外度与赤道天文坐标系中的赤纬是相当的。在授时历中这两种算法都归纳在“弧矢割圆”一节中，它们相当于已知在黄道上的位置来推求在赤道上的相应坐标和赤纬坐标。由于推算的过程比较繁杂，这里不可能也无必要对其详加介绍。虽然这种方法用“会圆术”的近似公式进行运算本身就包含有一定的误差，运算过程中又近似取圆周率为 3，所推算的结果必然不可能很精确，但是这种将弧长和线段长度均以角度表示进行计算的方法在中国古代天文学中是最早出现的，在球面上弧长的运算中已具有球面三角学的意味。我国著名的已故科技史家钱宝琮先生在对其进行研究以后明确指出：“王恂、郭守敬等利用他们的数学才能，钻研到球面测量的理论根据，因而开辟了一条新的路线，这和西洋人的球面三角法不谋而合。他们应用古代相传的勾股算术和北宋沈括(1030—1094)的‘会圆术’来解决这个天文测量上的问题，和当时的伊斯兰教徒从西域传来的球面三角法是源流不同的。”[①]钱宝琮认为：“从数学意义上讲来，新的方法相当于开辟了通往球面三角法的途径。”[②]对其给予了很高的评价。




最后，我们还要指出，虽然中国古代利用黄道来表示天体位置时使用的是准黄

---

① 钱宝琮：《授时历法略论》，《天文学报》，1956 年，第 2 期。

② 钱宝琮：《中国数学史》，科学出版社，1964 年。

道天文坐标系，但有人根据某些史籍资料中的记述认为中国古代也使用与现代黄道天文坐标系中的黄纬相当的坐标。据《宋书·律历志下》记述："按日行黄道，阳路也，月者阴精，不由阳路，故或出其外，或入其内，出入去黄道不得过六度。"在《隋书·天文志中》里也有："又月行之道，斜带黄道。十三日有奇在黄道表，又十三日有奇在黄道里。表里极远者，去黄道六度。"这里的"去黄道六度"可以理解为月亮与黄道的角距离，但由于记录本身不很明确，也就可以有不同的理解，将其理解为月亮到黄道的垂直角距离并无不可。故有人认为中国古代在推算月亮的位置变化时使用的并非是似黄纬（即前面所说准黄道天文坐标系中的黄道内外度），而是使用了与现今黄道天文坐标系中意义基本相同的黄纬，并认为："如果是似黄纬的话，它在相当短的时间里就有相当大的变化，而似黄纬对交食计算而言，也是没有意义的。"还指出："东汉末年刘洪提出了月行阴阳交错于表里，并量出黄白大距约六度许，此后就有了月去黄道度数的计算。"[①]认为这种表示方法在东汉末就已开始使用了。联系到在以后的某些历法（如五代时后周钦天历、宋代观天历等）中确有"月去黄道度"的推算，且在推算中并没有涉及与北天极有关的因素，上述观点看来还是有一定的道理的。然而我们知道，月亮绕地球旋转的轨道在天球上的投影被称为白道，它与黄道之间的夹角在 $4°57'\sim5°19'$变化，平均约为 $5°09'$，这样看来将其看作 6 度似太大了一点，而计算表明，用准黄道天文坐标系中的黄道内外度来表示的月亮坐标最大值也略小于 6 度，由此看来它也可能是用似黄纬来表示的。由于交食发生时月亮已很接近黄道，黄纬与似黄纬数值均不大，其差别更不显著，历法中推算"月去黄道度"时就有可能只是近似地从月亮在白道上的位置推出，也就很难说清其所对应的是哪一种坐标。由于在其他场合并未发现有使用与现今黄纬相同的坐标来表示天体在天空中的位置的情况，上述观点是否能够成立尚有待于进一步的研究。



## 第六节　不断完善的地平天文坐标系

### 一、中国古代使用的地平坐标

中国古代有很长一段时间并没有建立起完整的地平天文坐标系，但是人们很早就已使用相应于这一坐标系中的坐标来表示天体在天空中的位置了。

所谓地平天文坐标系是以地平面和铅垂线为基础在天球上建立的一种天文坐

---

① 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981 年。



标系。地平面与天球相交的大圆就是地平圈，铅垂线通过观测者向上和向下延伸与天球相交于两点，分别称为天顶和天底。为了表示天体在天空中的位置，可以通过天顶、天底和该天体做半大圆与地平圈相交，根据交点在地平圈上的位置就能知道该天体的方位坐标，根据交点到该天体的角距离又能得到天体的另一地平坐标——地平高度。为了获得方位坐标，在地平圈上应确定相应的方位标志，人们通常是将通过天顶、天底和北天极的大圆即子午圈与地平圈相交的两点分别称为南点和北点，并以它们作为方位坐标的量度起点，由其顺时针量度到上述天体的相应交点处的角距离就称为该天体的地平经度或方位角。现代天文学中常以南点作为量度起点，而大地测量学中则习惯上以北点作为量度的起点。人们也常用天顶距来代替地平高度作为表示天体的位置的一个坐标，它实际上就是天体到天顶的角距离。显然，它是地平高度的余角。有关地平天文坐标系中的天体坐标情况可参见图 3－2。

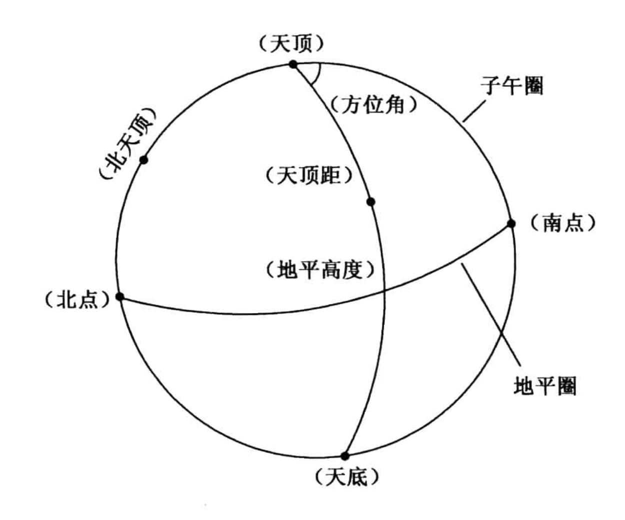



图 3－2　地平天文坐标系示意图

中国古代虽然在早期时并没有完整的地平天文坐标系的概念，但人们已经用与其相应的坐标来表示天体在天空中的位置了。早在《史记·天官书》中就有“五残星，出正东东方之野，其星状类辰星，去地可六丈”之类的记述，不但谈到了相应的天体出现的方位，也指出了其在地平线上的高度，只是两者均不是用具体的度数来表示的，前者只给出了大概的方向，后者则用丈、尺、寸的角度单位粗略地给出了一个数值，它们虽然不能给人们以明确的坐标概念，但对天体的位置的叙述却是清楚的。中国古代常用“出地”、“去地”等字样来表示天体或某些天象所在位置的地平高度。它一般可用于表示天空中固定不动的目标的位置。例如在一些史籍上就





列出了北天极的地平高度，在《晋书·天文志上》中所引三国时吴国天文学家王蕃对浑天说的一番论述中就有“北极出地三十六度”之语，这应是浑天说产生的早期就具有的认识。由于北天极必然在南北子午线上，其方位应是固定的，在地平天文坐标系中其位置也就是确定的了，虽然这里只给出了一个坐标值。在以后的史籍中常可找到有关北天极的地平高度值。由于中国古代并没有明确的地理纬度的概念，人们常用北天极的地平高度作为区分不同地域在南北方向上差异的依据。在《新唐书·天文志一》中，还记述了唐代著名的天文学家一行主持的天文大地测量工作(具体情况在以后还会详细述及)中为确定不同地点的北天极地平高度使用了一种称为覆矩的观测仪器，得到了南北共 10 处观测地点的北天极地平高度数据。元代著名天文学家郭守敬又将观测地点扩展到 27 个，其北天极的地平高度数据列于《元史·天文志一》的“四海测验”一节中。在航海时所做的天文观测中，北天极或某些恒星的地平高度常是人们决定航船在海洋中位置的重要依据，我们在前面已经谈到，在明代《郑和航海图》中就注有“到沙马姑山看北辰星十四指平水”、“东边织女星七指平水”等文字，明代黄省增所著《西洋朝贡典录》中有“由彭加剌而往，取北辰四指有半，又取北辰三指有半，又取北辰二指一脚之半”的记述，它们都是用指、脚作为角度单位来表示北极星等恒星的地平高度的。在中国古代某些天象资料的记录中也有些是用地平高度来表示的。前引《史记·天官书》中对五残星等天象的描述就是一例。《史记·天官书》中讲到对云气的观察时说到：“气来高七八尺者，不过五六日，去之十余里见。气来高丈余二丈者，不过三四十日，去之五六十里见。”用丈、尺作为角度单位谈到云气的地平高度。《晋书·天文志中》有“元帝太兴元年十一月乙卯，日夜出，高三丈，中有赤青珥”的记述。《宋史·天文志十三》中记有：“(端拱元年)十一月戊午夜，西北有气如日脚，高二丈。”《明史·天文志三》中也有：“景泰元年二月壬午，酉刻，日上黑气四道，约长三丈，离地丈许，两头锐而贯日，其状如鱼。”但这样的记录相对来说还是不多见的。



与地平高度坐标相比在天象资料记录中涉及天体方位的就要普遍得多。在《周髀算经》中就有“冬至昼极短，日出辰而入申”、“夏至昼极长，日出寅而入戌”、“故冬至从坎阳在子，日出巽而入坤”、“夏至从离阴在午，日出艮而入乾”等记述，明确说到了辰、申、寅、戌、子、巽、坤、午、艮、乾等方位名称。《淮南子·天文训》中则有了二十四个方位的名称，并列出了北斗星斗柄指向这些方位时的节气变化情况。《史记·天官书》中叙述五残星等天象时就指出了其出现的方位。《汉书·天文志》中也有“孝文后二年正月壬寅，天欃夕出西南”、“中元年……三月丁酉，彗星夜见西北……其六月壬戌，蓬星见西南，在房南，去房可二丈……”等记述。此后的史籍中天象资料的记录中对彗星、流星、云气等天象的出现常有用方位来表示的。直到《明



史·天文志三》中，“正德十六年正月甲寅朔，东南有星如火，变白”，“（嘉靖）十一年二月壬午，有星见东南，色苍白，有芒”之类的记述仍是不难找到的，这表明中国古代对一些异常天象的方位情况是相当注意的，这可能是出于占星术方面的需要。

## 二、划分趋于细致的方位标志

所谓方位实际上也就是人们的方向概念。关于其具体情况我们在以后谈到中国古代实用天文学的发展情况时还会详细讨论，这里只做概要的介绍。为了建立方向概念，人们总要依据一定的参照物，观察某一方向与该参照物的相对位置情况从而做出判断。由于在地面上不同地点选用的参照物不同，或者是同一参照物所在位置情况有不同，就会造成方向判断上的混乱，这就需要有一个客观不变的标准，而天文学就能提供这一标准。由于地球的自转，天空中所有天体都有一相同方向的运动，地面上任何地方的人观察到的这一运动方向都是相同的，人们观察到太阳从东方升起，位置越来越高，不断地向西方运动，到中午后位置随着其西移又不断降低，直到在西方没入地平线下，人们也就十分自然地用这最为显著的天文现象作为判断方向的依据，从而确定了东、西的方向，根据中午时的太阳最高的位置又有了南的方向，与其相背自然也有了北的方向。故最早的方位概念也就是确立了这四个方向。这当然是相当粗糙的，后来就在这四个方向的中间各确定一个方向，有了东南、西南、西北、东北四个方向，并称其为四维，它们与原有的东、西、南、北四个方向合在一起，形成了八方的概念。随着十二辰概念的形成，人们也用十二辰来表示方位。所谓十二辰就是将天空的一周划分为十二等份。据《左传》昭公七年记述：“公曰：多语寡人辰，而莫同，何谓辰？对曰：日月之会是谓辰，故以配日。”在《汉书·律历志下》中则明确记述：“辰者，日月之会而建所指也。”表明在一年之中太阳和月亮有十二次处在大致相同的位置上，人们据此将天空中的一周划分为 12 等份，并用十二地支的名称分别称呼它们。虽然日、月的周年视运动均是从西向东、在北天极处看来是逆时针方向的，但十二辰名称的排列次序却是与此相反的，是从东向西顺时针方向排列的，为什么会出现这种相反的排列？看来是难以做出圆满的解释的，这可能具有某种未知的历史渊源，但这种排列的方向恰能用来反映天体的周日视运动的情况，将其与某一观测地点相对固定就十分适合于表示天体运行的位置变化，故后来在计测时间、表示天体出没的方位等方面都使用了它，而原来它与恒星位置相对固定的划分方法倒反而很少得到应用了。在地平方位上以十二辰作为标志的做法出现得相当早，前面所引《周髀算经》记述中太阳出没的方位名称就是与其相对应的。由于该著作中还出现了后来作为四维名称的巽、坤、艮、乾方位名称，可以认为十二辰作为地平方位的划分标志应比《周髀算经》所对应的年

代早。这种表示法在以后的史籍中虽也使用,但常用于表示天体出没的方位,不像前面谈到的用八方来表示方位那样在天象资料的记录中得到普遍的应用。

说到十二辰也就需要将其与中国古代早就使用的十二次加以区分。十二次也是将一周天划分为相等的12个部分,但其方向是与十二辰相反的,是从西向东、逆时针方向排列的。其名称依次为星纪、玄枵、娵訾、降娄、大梁、实沈、鹑首、鹑火、鹑尾、寿星、大火、析木。通常认为十二次的产生是与木星的运动有关的,木星的恒星周期约为11.86年,也就是说它在天空中运行1周大约需要12年,每年在天赤道、黄道附近运行1周天的$\frac{1}{12}$,人们也就很自然地将天赤道、黄道划分为12个相等的部分,根据木星在其间的位置来区分不同的年份,这就是所谓岁星纪年,这12个部分也就是十二次。但由于木星的恒星周期并不恰好为12年,在纪年的适当时机就要做一调整,为改变这种情况人们又假想了一个天体,其运动速度使它恰好12年运行一周天,但运动方向与木星是相反的,也即以顺时针的方向从东向西运行。人们将这假想的天体叫作太岁(也有人称其为太阴、岁阴)。太岁实际上也就与十二辰联系在一起了,它每年运行一辰,人们据此进行纪年就是所谓太岁纪年法。这里的十二辰显然是与天空中的恒星位置基本上相对固定的,它不随观测地点或时刻的不同而变化。在《淮南子·天文训》中就记述有:"太阴在寅,岁名摄提格,其雄为岁星,舍斗、牵牛……太阴在卯,岁名曰单阏,岁星舍须女、虚、危……"将太岁与岁星运行的关系叙述得很清楚。通常认为这种做法产生于战国时代。后来人们将对应于某一观测地点的天赤道也分为12等份,它们相对于该地点是固定不动的,可用它作为标志来观察天体的周日视运动的情况,由于其名称也是用十二地支命名的,人们也称它为十二辰。根据太阳周日视运动所到达的辰数就可用来给当时的时刻命名,这就是所谓十二时辰制,至迟在汉代十二时辰制就已经出现了。其有关情况我们在后面谈到古代计时技术时还会涉及,这里就不多说了。类似的情况也发生在地平方位上,这在上面已经谈过了。



以十二辰或八方来表示方位当然是十分粗糙的,为了更精细地表示天体的地平方位,人们不断地进行了改进。最简单的方法是将十二辰与八方结合起来。由于这两种表示方法有四个方向是重复的,即十二辰中的子、午、卯、酉分别与八方中的北、南、东、西重合,它实际上也就是在十二辰的基础上增加了四维(即东北、东南、西南、西北),但这又造成了各方向之间不等距的情况,为改变这种情况,人们又采用将地平圈分为24个方位的方法,其与十二辰的方位相合的就沿用十二辰的名称,与四维的方位相合的则分别用八卦中的艮、巽、坤、乾命名,余下的八个方位则用十天干中的甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸称呼。这24个方位合称为二十四山。因其包含有四维和十二辰的名称,又简称其为维辰。在《淮南子·天文训》中出现了



二十四山的全部名称，不过其四维的名称分别用报德之维、常羊之维、背阳之维和蹏通之维来称呼，这表明二十四山方位体系的出现是相当早的。据《隋书·天文志上》记述，东晋时前赵政权的史官丞孔挺制作的浑仪中，“又有单横规，高下正当浑之半，皆周匝分为度数，署以维辰之位，以象地。”表明这种方位体系在正规的天文测量工作中早已得到了应用。二十四山与十二辰、八方的关系如图 3－3 所示。其最内圈为八方，中间一圈则是十二辰，最外一圈则是二十四山。为了更精细地表示地平方位，人们还将二十四山的每两山的正中点之间又各分为 10 等份，这样整个地平圈就被分成 240 个小格，每个小格根据其在二十四山的正中点之间的相对位置给一名称，这样就可以用来相当精细地确定天体的地平方位了。这种划分方法最早见于北宋时的罗盘上。现依然保存在南京中国科学院紫金山天文台内的明代正统年间制作的浑仪，其地平圈上所刻的二十四山方位标志也是将每山之间划分为 10 个相等的小格的，其做法应视为相同的。

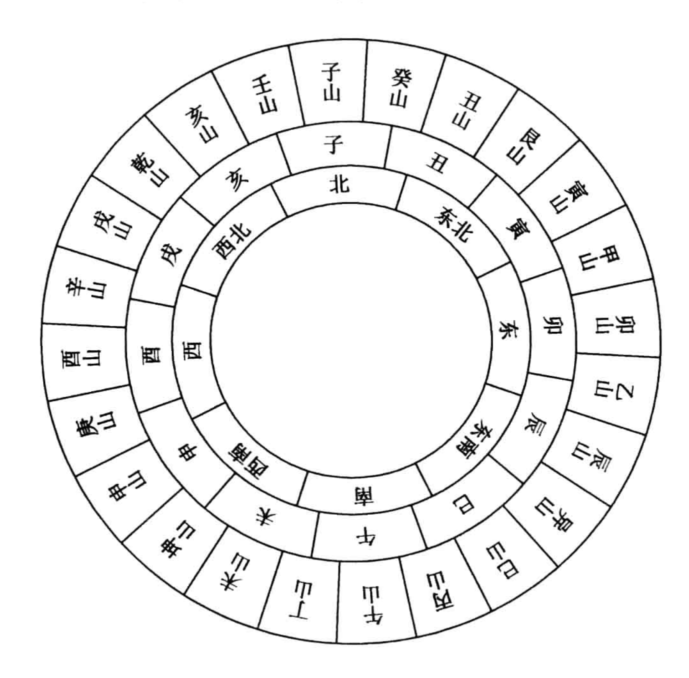



图 3－3　二十四山与十二辰、八方





历史也曾出现过一种将地平圈划分为 60 等份的做法，这就是唐代术士创造的六十分龙方位系统。它是在十二辰方位的基础上建立起来的，只要将每一辰再分为 5 个等份就可方便地得到。为了给这些方位命名，又将十二地支分为子、寅、辰、午、申、戌六个阳支和丑、卯、巳、未、酉、亥六个阴支，将十天干分为甲、丙、戊、庚、壬五个阳干和乙、丁、己、辛、癸五个阴干，凡是十二辰的名称是阳支的，其五小格则分

别依次以五个阳干与该阳支的组合作为名称，十二辰的名称是阴支的则依次用阴干与该阴支的组合作为各小格的名称。例如十二辰中名称为子的，其五小格的名称分别为甲子、丙子、戊子、庚子、壬子，为丑则分别为乙丑、丁丑、己丑、辛丑、癸丑，依此类推就有 60 个名称。这实际上也就是将六十干支的名称中凡是带有“子”字的均集中作为子的方位中的 5 个小格的名称，带有“丑”字的则为丑方位的 5 个小格的名称，如此等等，这样的划分与六十干支的周期就有了一定的对应关系，它与天文测量并无太大的关系，只在方术占卜方面有些用处，被称为胎骨六十龙或透地六十龙。显然，每龙的范围相当于 6°。后来也有一种被称为穿山七十二龙的方位系统，它又被称为穿山虎，是将地平圈划分为 72 等份，每龙的张角为 5°，其名称也就是将六十分龙的名称再加上四维和八个天干名称。因 72 能被 24 整除，它与二十四山方位系统可以建立联系，它与天文测量的关系也不大，这里就不多说了。王立兴在其《方位制度考》一文[①]中较清楚地叙述了与中国古代地平方位有关的问题，其中也对二十四山、六十分龙和穿山七十二龙的情况做了介绍，有兴趣者不妨参阅该文。

## 三、地平坐标系的逐渐完善

我国古代虽然对地平天文坐标系的两个坐标早就有所认识，然而长期以来并未建立起完整的地平天文坐标系，在史籍上很难找到同时用两个地平坐标来确定天体在天空中的位置的记录，元代以前也没有专门用来测量天体的地平坐标的天文仪器。在中国古代的浑仪上虽然大都具有与地平圈相应的规环，但却没有可以随天体位置而绕通过天顶点的直径转动的规环，从而不能通过观测天体来得到其地平坐标，故在史籍中的一些天象资料只能给出大致的地平方位或地平高度。这种情况到了元代才有了改变。元代著名的天文学家郭守敬所创制的简仪中最早出现了用来观测天体的地平坐标的部分。据《元史·天文志一》记述：在简仪中“又为环二，其一阴纬环，面刻方位，取趺面纵横辄北十字为中心，卧置之。其一曰立运环，面刻度分，施于北极云架柱下，当卧环中心，上属架之横辄，下抵趺辄之十字，上下各施枢轴，令可旋转。中为直距，当心为窍，以施窥衡，令可俯仰，用窥日月星辰出地度分。”关于其具体构造我们在这里就不详细讨论了，不过通过以上的叙述我们可以清楚地知道人们利用它观测天体就能分别在阴纬环、立运环上读取相应的地平方位和出地度分，从而确定它在天空中的位置。在《明史·天文志一》中所引明末科学家徐光启的话中有：“仪者，本台故有立运仪，测验七政高度。”这里所说的



---

① 王立兴：《中国天文学史文集》第五集，科学出版社，1989 年。



立运仪可能就是与简仪中相应于地平天文坐标系的部分一致的。而徐光启要求制造的六台象限大仪看来也是用来观测天体的地平高度的。清代康熙十二年(1673)，比利时传教士南怀仁主持制造了6件天文仪器，其中就有专门用来测量地平方位的地平经仪和用来测量天体的地平高度和方位角的象限仪，这表明当时的官方天文机构在运用地平天文坐标系方面已经与西方天文学完全衔接了起来。康熙五十四年(1715)，来华的法国传教士纪里安又主持制作过一台地平经纬仪，通过它，人们可同时观测到天体的地平方位和地平高度(或天顶距)。这三台清代的仪器都安置在北京建国门古观象台上，它们除了在结构上有某些改进和坐标的标志都使用了与近现代天文学一致的规定外，其完善程度并未超过元代郭守敬的简仪中的相应设计。我们可以认为，中国古代的地平天文坐标系最迟在元代已经是相当完善了。

以上的叙述表明中国古代地平天文坐标系中的地平方位的划分是与将一圆周划分为$365\frac{1}{4}$度的习惯做法不同的，但在《隋书·天文志上》中叙述东晋时前赵史官丞孔挺制作的浑仪结构时说到其单横规“高下正当浑之半。皆周匝分为度数，署以维辰之位，以象地。”表明它除了有二十四山标志外也有度的标志。在《新唐书·天文志一》中叙述天文学家李淳风的浑仪时也有：“一曰六合仪，有天经双规、金浑纬规、金常规，相结于四极之内，列二十八宿、十日、十二辰、经纬三百六十五度。”也谈到浑仪相应于地平坐标的规环上都有度的标志，这似乎应该显示了在地平方位上也曾存在过将地平圈划分为$365\frac{1}{4}$度的做法。由于在其他浑仪结构的叙述中并无类似的字句，而这里的叙述又十分简单，其具体做法也不得而知。如果叙述是准确的话，这一做法可能也是不常见的，我们在前面所谈的情况应是主流，而这一做法可能只是局部的。是否确是如此，尚有待于进一步研究。





# 第四章　中国古代的恒星观测

中国古代的天文坐标系除地平天文坐标系外，都与恒星的位置有紧密的联系。由于恒星之间的相对位置变化很小，用它们作为参照物来观察其他天体的位置变化是比较方便的；而中国古代的占星术又将某些天体在恒星之间的位置变化视为预卜人间社会重要事件的依据，中国古代的人们也就自然地将对恒星位置的观察视为在天文学中至关重要的事情了。在这一章中我们将按时代先后对中国古代的恒星观测情况做一简单的概述，并对其发展情况进行一定程度的探讨。至于具体的各次恒星位置测量工作的情况我们拟在其他有关章节中另行讨论。

关于中国古代的恒星测量工作，潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中对史料进行了系统的整理和研究，做了大量的出色工作，取得了一系列具有重要意义的研究成果。在本章和其他有关章节中我们探讨中国古代恒星观测的相应情况时，这部著作均作为主要的参考资料。潘鼐在这一研究领域中所作的可贵贡献是令人钦佩的。

## 第一节　春秋时代以前

由于昼夜交替是最为显著的天文现象，人们在晴夜中仰望天空就必然会观察到点点的繁星，并根据绝大多数星星之间相对位置基本不变的特点将它们称为恒星。恒星这一名称的出现是相当早的，早在《春秋》中就记有："夏，四月辛卯，夜，恒星不见。"种种迹象表明，远在文字记载出现之前人们早就注意对恒星的观察了。《后汉书·天文志上》叙述："轩辕始受《河图·斗苞授》，规日月星辰之象，故星官之书自黄帝始。"明确认为早在远古黄帝时代就已经开始了对恒星的观测。《晋书·律历志中》也讲到："逮乎炎帝，分八节以始农功，轩辕纪三纲而阐书契，乃使羲和占日，常仪占月，臾区占星气……"认为在炎帝时就已开始制定历法，黄帝时各天文工作已有明确的分工，臾区专门负责恒星等天体和云气的观测工作。由于这两段叙述均是后代人对远古时代情况的传说，是否确有根据尚不得而知，其可信度是不高的。然而，在20世纪70年代中期，河南省郑州市的大河村新石器时代文化遗址中曾出土过一批彩陶，其中有的彩陶片上绘有带光芒的太阳、弯弯的月牙和星星图案，后者被认为是象征着星座的几颗恒星被用线条联系在一起(图4—1)。





图 4—1 4500 年前彩陶片上的星座图(摹本)

据考证,该文化遗址距今已四五千年。这一考古事实反映了在远古时代人们确实对恒星已经十分注意了。在江苏省连云港市西南的将军崖岩画中也有光芒四射的太阳、月亮和用圆点表示的星星的图像。它同样表明了在新石器时代的晚期人们对恒星已经有了一定程度的观察了。当然,仅凭这两条证据我们还难以判断远古时代的人们对恒星观察的具体情况如何。由于太阳在恒星间的周年视运动使人们在不同的季节观察到的恒星范围也不相同,最早的恒星观测应该是与确定季节联系在一起的,这就是在后面将要详细讲到的观象授时,这里就不必多说了。但我们可以从《尚书·尧典》中关于所谓四仲中星的叙述看到,远在传说的帝尧时代人们可能就已经通过黄昏时观察在南方天空中的恒星来确定季节了。在《左传》中也记有:"陶唐氏之火正阏伯居商丘,祀大火,而火纪时焉。"指出帝尧时代已有专门观察大火星的天文官员火正,人们可根据其观察的情况来确定时令季节。由于远古时代农牧业生产的需要,人们在天文学尚处在原始阶段时通过观察在黄昏时恒星在天空中的位置来确定季节是完全可能的。而要做到这一点,人们首先要对各恒星进行区分,除了恒星的亮度、颜色等特点外,恒星之间的相对位置应是区分的一个依据,而且因为它因星而异应是比前两个特点更为重要的依据。尽管在开始时人们并没有建立起星官的概念,也不一定为被观察的恒星命名,但人们根据某些恒星的排列形状或其周围恒星的分布情况还是能将它们辨认出来的,这实际上也就为后来星官概念的出现提供了基础。

在相传为夏代历法的《夏小正》中记述了不同的月份所观察到的不同星象。关于其详细情况,也在观象授时的有关章节中予以探讨,这里只概略地介绍一下情况。它按 12 个月份叙述了各月的星象与物候,其中只有 9 个月中涉及恒星的位置,有 3 个月只有物候而无星象。叙述到星象的是用"伏"、"见"等字眼来表示其与太阳的相对位置,又用黄昏时"正"、"中"来记述昏中星,还谈到北斗的斗柄的方向、清晨或黄昏时某一恒星的方位等,这些都说明当时观察恒星来确定季节变化已经并不只限于观测昏中星了,人们对太阳在恒星间相对位置变化产生的各种变化已




有所了解，故叙述也趋向多样化。由于观察不同的星象，人们对恒星之间的相对位置也应有清楚的了解。《夏小正》是否确为夏代的历法，看来还是有一定的疑问的。不过有人通过研究认为这些天象所对应的年代不晚于公元前2000年(少数天象对应的时间较晚)，把它视为夏代的历法应该是可信的。具体情况如何，我们以后还要详细讨论，这里就不再赘述了。陈久金、卢央、刘尧汉认为《夏小正》是一部一年具有10个太阳月的太阳历，用这一观点解释其所述天象更为符合[①]。

商代关于恒星观测的资料比较少。但在殷墟甲骨文卜辞中就出现过火、鸟星的名称，另外还有鹬星这一名称，据推测它可能就是鸟星，而火也即大火星的一个别名。在纯粹的占卜文字中只出现个别的星名并不表明商代人的恒星观测只局限于这两颗星。从某些卜辞的内容来看，说的是对大火、鸟星进行祭祀。有人通过研究认为，夏至日黄昏时大火星恰在南方天空上的时代与殷商是相当的，那个时代春分日黄昏时鸟星也大致在同一方位上，人们通过观察鸟星和大火就可以确定当时的春分和夏至日。由于时令节气的确定与农业生产有密切的关系，直接影响农作物的收成，人们也就对这两颗星敬若神明，通过祭祀来祈求丰收。看来，这种说法确有一定的道理。

西周时的天文工作已经有了明显的分工。据记述西周时政治制度有关情况的《周礼》中记载，当时官方与恒星观测有关的就有保章氏和冯相氏等官员。据《周礼·春官·保章氏》记述：保章氏的职责是“掌天星，以志星辰日月之变动。……以星土辨九州之地，所封封域，皆有分星……”他应该掌握恒星的位置情况来标示像流星、彗星、行星等位置有明显变化的星体和太阳、月亮的位置变化情况，并根据某些天象发生在恒星之间的位置来找出地面上与之对应的地域。后者显然是与占星术密切相关的，虽然不具备科学意义，但它也要求对恒星的相对位置情况有清楚的了解。在《周礼·春官·冯相氏》中则指出：冯相氏的职责是“掌十有二岁，十有二月，十有二辰，十日，二十八星之位，辨其叙事，以会天位。”也要掌握二十八宿恒星的位置情况。可见西周时人们对恒星的观察已经是十分重视的了。《诗经》是我国古代最早的一部诗歌总集，其中汇集有从西周初到春秋前期的305篇诗歌，其中就有关于恒星位置的描述，最著名的有“七月流火”、“三星在天”、“定之方中”、“龙尾伏辰”等诗句。据统计，《诗经》中涉及的星名就有9个，未收入《诗经》中的古诗中涉及的星名可能还要多。这些涉及恒星位置的诗句显然与民间对恒星位置的观察有密切的关系。明末著名学者顾炎武在其所著《日知录》中指出：“三代以上，人人皆知天文。七月流火，农夫之辞也；三星在天，妇人之语也；月离于毕，戍卒之作也；





① 陈久金等：《彝族天文学史》，云南人民出版社，1984年。



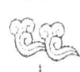
龙尾伏辰，儿童之谣也。后世文人学士有问之而茫不知者。”形象地描述了在历法尚未普遍采用之前先民们各自根据自己的天文知识通过对恒星位置的观察来了解季节的变化从而安排生产和生活的情况，看来是相当有道理的。即使到了近代，仍然有某些闭塞而落后的地方是由有经验的老农通过对周围的环境的物候变化和星象的观察来安排农事的，在西周及以前，这种情况当然就更为普遍了。但要做到这一点就必须对恒星的相对位置有较为清楚的认识，否则就难以达到目的。不过这种认识可能还是处于相当粗糙的阶段，只要能据此找到需要观测的恒星就可以了。

## 第二节　春秋战国时期

### 一、天文学的发展概况

春秋战国时期的天文学有了较大的发展。这主要表现在两个方面。首先是在春秋时代的后期产生了相对正规的天文历法。这种历法是一种四分历，即将回归年的长度取为 $365\frac{1}{4}$天，采取在 19 年中设置 7 个闰月的方法使朔望月与回归年长协调起来，使年的平均长度与回归年长基本相等。它标志着古代的人们已由观象授时的阶段进入到使用较为成熟的历法的时代。要确定回归年的长度除了用圭表来测量太阳在南北方向上运动的情况外最有效的方法就是观察太阳在恒星中间位置的变化情况，这就需要人们对恒星之间的相对位置有清楚的了解。春秋时代人们既然有了较为精确的回归年长的概念，表明他们对恒星的观测已经相当精细。制定于战国时代的古六历（即黄帝历、颛顼历、夏历、殷历、周历、鲁历）都是四分历，而且还开始出现了节气的概念，这与太阳在恒星之间的某些特定位置就建立起联系，这无疑要求人们对恒星的观察更为精细。春秋战国时代天文学有较大发展另一方面的表现是当时出现了不同学派的天文学家。据《史记·天官书》记述：“昔之传天数者：高辛之前，重、黎；于唐、虞，羲、和；有夏，昆吾；殷商，巫咸；周室，史佚、苌弘；于宋，子韦；郑则裨灶；在齐，甘公；楚，唐昧；赵，尹皋；魏，石申。”叙述中苌弘以后的天文学家都是出现在这一时代。《后汉书·天文志上》又补充了鲁国的梓慎，《晋书·天文志上》里则还谈到晋国的卜偃。毋勿庸讳言，这众多的天文家中有不少人的贡献主要是在占星术方面，但也不能否认他们在中国古代天文学的发展上还是起了相当大的促进作用的。其中最为著名的是齐国的甘公和魏国的石申夫。他们对后来的天文学具有相当深远的影响。按照《晋书·天文志上》的记述：“其诸侯之史，则鲁有梓慎……齐有甘德……”通常人们认为齐国的甘公就是甘德。南北朝时刘宋的裴骃在其《史记集解》中说：“徐广曰：‘或曰甘公名德也，本是鲁人。’”但





唐代张守节的《史记正义》中又将其说成是楚国人："《七录》云：楚人，战国时作《天文星占》八卷。"这里的《七录》是南北朝时梁代的阮孝绪所编的一部书目，现已失传。然而其所叙述的著作情况应该是较为可靠的。关于石申夫，《史记正义》说："《七录》云：石申，魏人，战国时作《天文》八卷也。"通常认为，《史记·天官书》中的记述应为："……魏，石申夫。天运，三十岁一小变……"东汉人在引述《史记·天官书》时断句有误，将"石申"和"夫"分别断为属于前后两句，从而引起了后来人们的误解，使石申夫在某些场合被称为石申。由于"甫"、"父"与"夫"同音，有时也写作石申甫、石申父。《七录》中所述甘公所著《天文星占》和石申夫的《天文》均早已失传，但在《汉书·天文志》和以后的某些史料中却依然用"石氏(曰)"、"甘氏(曰)"之类的字眼作为标记保存了他们在天文学或占星术方面的观点。在《汉书·天文志》中就记述："古历五星之推，亡逆行者，至甘氏、石氏经，以荧惑、太白为有逆行。"对他们发现了火星、金星存在的逆行现象的事实给予了充分肯定。但甘公、石申夫的天文贡献主要还是在恒星观测方面。在《隋书·经籍志》中就记述了一些标志有"甘氏"、"石氏"字样的一些著作名称，其中有《石氏浑天图》一卷、《石氏星经簿赞》一卷、《甘氏四七法》(可能是述及二十八宿的天文或占星术著作)一卷、石氏《天文占》八卷、甘氏《天文占》八卷、陈卓记述的《石氏星经》七卷、《石氏星官》十九卷、吴袭撰写的《石氏星占》一卷等。可惜的是这些著作均未能留存下来。值得一提的是《石氏星经》，目前它已被人们公认为世界上最早的恒星位置表，其在世界天文学发展史上的重要地位是有目共睹的。

## 二、《石氏星经》《甘氏星经》和《甘石星经》



关于《石氏星经》的具体情况在后面谈及星表时我们还要深入探讨，这里不妨先概略地介绍一下有关的情况。《石氏星经》的名称在汉代以前还未发现有使用，直到《后汉书·律历志中》中记载有东汉历法学家贾逵关于历法的议论，其中有一句提到："《石氏星经》曰：'黄道规牵牛初直斗二十度，去极二十五度。'"这一名称才第一次在史书上出现了。这表明在《隋书·经籍志》中所列出的由陈卓记下的《石氏星经》出现以前，这部著作早就流传于世了，很可能其流传的时间比东汉还要早很多。前面所引《汉书·天文志》的叙述中"甘氏、石氏经"的后者很可能就是《石氏星经》。它与石申夫所著的《天文》八卷到底是什么关系，看来是很难搞清了，但从《天文》的书名似表明其内容更为广泛的情况来看，不能排斥《石氏星经》是《天文》中的一部分的可能性。

由于《石氏星经》也早就失传了，除非新出现有关的文物证据，人们已经不可能了解其本来面貌了，但由于它有相当一部分内容被唐代从印度来华的天文学家瞿



昙悉达编进了一部名为《开元占经》的著作中，随着这一著作的失而复见，人们也就能对《石氏星经》的有关内容有所了解。在《开元占经》的卷六十到卷六十八中用“石氏曰”的字样作为标记列出了二十八宿的宿度值和相应距星的去极度、黄道内外度数据，赤道南北的某些恒星的入宿度、去极度和黄道内外度数据，共包括121颗恒星的位置数据（现存本《开元占经》中仅存115颗，缺6颗。另有个别星缺黄道内外度数据）。近代国内外一些学者对这些数据进行了研究。一些研究的结果表明这些数据中至少有相当数量是在公元前4世纪前后观测得到的，这一时间恰与石申夫从事天文活动的年代吻合，尽管另一部分数据的观测年代对应于较晚的时间（相当于东汉时期），人们还是据此认为在战国时期石申夫确实进行过恒星位置的观测工作，并编制了恒星位置表。由于这一星表比古希腊著名的天文学家喜帕恰斯在公元前134年前后编制的恒星位置表还早了200多年，人们认为《石氏星经》是世界上最早的星表。也有人的研究结论是上述数据的观测年代对应于较晚的时间，《石氏星经》之名不过是后代人利用当时的观测数据所作的伪托。情况究竟如何，看来还不能贸然做出最后的结论，我们在后面述及《石氏星经》时对这个问题再做详细的探讨。由于后一种观点尚未能取得足以推翻前一种结论的确凿证据，通常人们还是将《石氏星经》视为世界上最早的星表。

与石申夫同时代的甘公也有相应的《甘氏星经》流传。该书名最早出现于由许慎编著、成书于东汉永元十一年（99）的《说文解字》一书中，表明它与《石氏星经》同样都是相当早就已流传于世的。《开元占经》中的卷六十九、卷七十中以“甘氏曰”为标志叙述了有关恒星的相对位置情况，但均未列出具体的数据。如果这些确是《甘氏星经》中的有关内容的话，它与现代人们所说的星表还是不同的。其在天文学发展史上的地位也就不如《石氏星经》那么重要。由于缺少具体数据，对其的研究也就受到了限制，故也就很难找到对其研究的有关资料。

历史上还曾流传过一部被称为《甘石星经》的天文著作，它有多种版本，有时又称为《星经》或《通占大象历星经》；其作者有时署为“汉甘公、石申著”，有时则题“撰人不详”。在叙述某一星官时首先绘有该星官的各成员星排列情况的图形，然后对其情况进行叙述，既谈到其位置情况，也列出了其中某一成员星位置数据，共有44颗恒星的位置数据，其中有个别恒星的位置数据只列出一个坐标。其书名最早出现在南宋晁公武所撰《郡斋读书志》卷十三“天文类”中。由于书中的星占文字中有若干州名分别是晋、隋、唐代才开始使用的，研究者大多认为它可能是唐代人增删窜改后的托名之作，但也不否认其中有古老的天文资料的内容。它们与甘公、石申夫的著作是否有关，我们拟在以后叙述到星表时再做讨论。

## 三、对北极星和二十八宿星官的观测

最迟是在战国时期，人们对北极星与北天极之间的关系已经有了比较明确的认识。如果说在第二章中我们已经引用过的春秋时代孔子说过的一段话“子曰：为政以德，譬如北辰，居其所而众星拱之”①中已有将极星（即北辰）与北天极（即“其所”）区分开的意味，那么在战国后期由吕不韦召集门客编写的《吕氏春秋》中则具有更加明确的观点：“极星与天俱游，而天极不移。”②这样的认识对于远古时代的人们来说是难以想象的。由于北天极在天空中并无一客观存在的标志作为参照物，远古或更晚时的人们总是将与北天极最接近的恒星来作为相应的标志，用以判断方向或进行粗糙的天文测量。由于与北天极十分接近的天体周日视运动十分缓慢，在没有固定不动的参照物的情况下要发现极星的运动是十分困难的，这样也就难以产生极星也有运动的概念。在战国时期能明确建立这样的概念，表明在当时人们对恒星的周日视运动已经进行过长期而精细的观察，从而反映了人们在恒星观测方面的水平已经有了相当程度的提高。

《周髀算经》据认为是一部成书于西汉时期的天文历算著作，但其叙述的天文学知识可能是在西汉以前的，故其关于恒星观测的内容也就在本节中叙述。在该著作的卷上之三中就有与二十八宿有关的叙述：“故日夏至在东井极内衡，日冬至在牵牛极外衡也。”在卷下之一中还有利用圭表来测定二十八宿的宿度的有关叙述。关于圭表，我们在以后述及回归年长度的测定及实用天文学的有关内容时还会详细探讨，这里就不做进一步研究了。《周髀算经》中的方法是竖立一根8尺高的表（即一直立的木制或其他质料的杆子），先定出正南北方向，并在其顶端系一绳，在沿绳的方向观察到牛宿的距星正在南北方向的天空中后就等待女宿的距星位于正南北方向的天空中的时刻，这时再观察牛宿的距星在表的西边多少度。其具体做法是，用一游仪（可移动的表）使牛宿距星、表和游仪在一直线上，则根据游仪在地面上的位置可以知道牛宿的宿度是多少。为了确定这一度数，人们在地面上以安表处为圆心做了一个直径为121.75尺的圆周，按照当时“周三径一”的原则得到圆周长为 $365\frac{1}{4}$ 尺，与一圆周 $365\frac{1}{4}$ 度相对应，就可得到1尺相当于1度。据书中记述，游仪在8尺的相应位置上就得到牛宿的宿度为8度的结果。依同样的方法测量下去就可得到各宿的宿度。这种测量方法当然是十分粗糙的。由于二十八宿并非分布在地平线上，用地平上的均匀分度来量度其宿度范围显然是不合理




① 《论语·为政》。
② 《吕氏春秋·有始览》。



的，不可能得到准确的结果。书中所列牛宿的宿度值与《汉书·律历志》中相同，如果不是偶然的巧合，那必然是某种人为的因素在起作用的结果。

## 第三节　两汉时期

### 一、西汉太初年间的恒星观测

秦始皇统一中国以后对历法也进行了统一，编制和颁行了一种较为精确的颛顼历。由于历法与观察太阳在恒星之间的运动有密切的关系，对恒星的观察也就是必不可少的。由于秦王朝存在的时间较短，历史上遗留下来的文献资料较少，其具体情况如何尚难以评说。

汉初的历法是沿用了秦代的颛顼历，100 余年以后才做了改变。汉武帝时就将编制新历法的工作提上了议事日程："遂诏卿、遂、迁与侍郎尊、大典星射姓等议造汉历。乃定东西，立晷仪，下漏刻，以追二十八宿相距于四方，举终以定朔晦分至，躔离弦望。"[①]这里参加编制新历的筹备工作的有被称为大典星的官员射姓。顾名思义，这应该是一位掌管恒星观测的官员。在筹备工作中也记述有制造天文仪器观测二十八宿的内容，其主要参加者著名天文学家当时任太史令的司马迁对恒星的相对位置情况就十分熟悉，其所著《史记·天官书》中一开始就有相应的叙述。筹备改历的工作取得一定的进展后又召集治历邓平等和民间历法家唐都、落下闳共 20 多人参加改历的工作。其中唐都的工作是"分天部"，也就是确定二十八宿的宿度值，这显然只有通过对恒星位置进行精细的观测才能得到。落下闳的工作则是"运算转历"。他们所做的工作与邓平大致相同，"于是皆观新星度、日月行，更以算推，如闳、平法。"[②]由这些记述我们可以知道，汉武帝时《太初历》的编制是与对恒星位置的观测紧密联系在一起的。据《晋书·天文志上》记述："暨汉太初，落下闳、鲜于妄人、耿寿昌等造员仪以考历度。"指出为了历法上的需要，落下闳等人还制作过一种员仪来观测天体的位置。所谓员仪有时也作圆仪，通常认为是天文观测仪器，它可能与后来被称为浑仪的仪器在结构上是相似的，只是当时因为浑天说尚未占据统治地位也就未采用浑仪的名称。在东汉学者扬雄所著的《法言》中就曾记述："或问浑天，曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。"指出西汉时落下闳等人确实制作过浑仪，它为恒星观测工作提供了有效的手段。《太初历》颁行以后在汉昭帝元凤三年（前 78）时曾用了 3 年时间将其与另 10 种历法用天文观测




---

① 《汉书·律历志上》。

② 以上皆引自《汉书·律历志上》。

进行校验，证明它在当时是最精密的。这肯定与人们在编制太初历时已能精确地掌握恒星间的相对位置是有关系的。可惜的是这些能反映西汉时官方所进行的恒星观测情况的数据未能流传下来。在《汉书·律历志下》中收录了西汉末刘歆由太初历改写的三统历，其中列出了二十八宿的宿度值和十二星次与二十八宿、二十四节气的对应关系，它们有可能是太初历中原有的数据，反映了当时人们的有关认识。

在《汉书·天文志》中还记载有人们观测昏中星以确定分至日的有关标准："日行不可指而知也，故以二至二分之星为候。日东行，星西转。冬至昏，奎八度中；夏至，氐十三度中；春分，柳一度中；秋分，牵牛三度七分中；此其正行也。"由此可见，西汉时观测的昏中星已不是位于天空中南北子午线上的一颗具体的恒星，而是天赤道上与相应宿的起点相距一定角度的位置；也可以视为观测当时相应宿的距星偏在子午线以西某一确定的度数。要进行这样的观测必然要借助于使用天文观测仪器，而要确定准确的黄昏时刻还应使用具有一定精度的计时仪器，它显然要比处于观象授时年代的昏中星的观测大大前进了一步，其精度也有所提高。这同样也反映了人们对二十八宿的距星位置有了很精确的了解。

## 二、东汉恒星观测

东汉时人们对恒星位置的掌握情况可以从著名天文学家张衡所写的《灵宪》一文中有所了解：

> 众星列布，其以神著，有五列焉，是为三十五名。一居中央，谓之北斗。动变挺占，实司王命。四布于方，为二十八宿。日月运行，历示吉凶，五纬经次，用告祸福，则天心于是见矣。中外之官，常明者百有二十四，可名者三百二十，为星二千五百，而海人之占未存焉。微星之数，盖万一千五百二十。

在这段叙述中所列出的恒星总数比现代一般人用肉眼观察到的恒星数要高出1倍，看来这是很难用当时的大气洁净程度远优于现代或当时的专业天文观测者的视力超常来解释的。比较可能的是张衡所说的"微星之数"并非实际观察到的统计结果，而只是一种粗略的估计。金祖孟曾经撰文指出，张衡在这里所说的微星之数并不是通常意义上的数字，而是具有古代哲学上的某种含义。他引用在《汉书·律历志》中的三条叙述来加以说明。其一是："钧者，均也，阳施其气，阴化其物，皆得其成就平均也。权与物均，重万一千五百二十铢，当万物之象也。"其二为："合太阴太阳之岁数而中分之，各万一千五百二十。阳施其气，阴成其物。"其三则说到："九章岁而六之为法，太极上元为实，实如法得一，阴阳各万一千五百二十，当万物气体



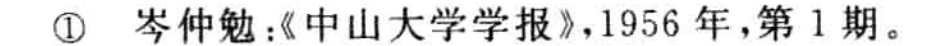

之数，天下之能事毕矣。”三者均将 11 520 这个数字与阴阳、万物联系在一起，张衡借用它来形容微星之多是完全可能的。金祖孟的解释看来是相当合理的。岑仲勉在其所撰《易卦爻表现着上古的数学知识》[①]一文中也对这一数字做了解释，他认为在《易·系辞传》中就假定八卦的每一卦基数为 180，六十四卦的总数就是 11 520，取其为万物之数。故可以认为张衡的微星之数确实并非来自观测。但他所谈及的其他数据看来均是比较确实的，反映了当时人们的认识。将其与《汉书·天文志》中“凡天文在图籍昭昭可知者，经星常宿中外官凡百一十八名，积数七百八十三星……”的叙述及《续汉书·天文志上》所说“斗、衡、太微、摄提之属百二十官”进行比较就可发现各种说法互不符合，这可能只是不同的天文学流派之间的差别的反映，但都能客观地表示了当时人们对恒星的认识情况。说到张衡的重要贡献，在《晋书·天文志上》中还记述了他制作的一台水运浑象的情况：

> 至顺帝时，张衡又制浑象，具内外规、南北极、黄赤道，列二十四气、二十八宿中外星官及日月五纬，以漏水转之于殿上室内，星中出没与天相应。因其关戾，又转瑞轮蓂荚于阶下，随月虚盈，依历开落。

可以看到其主要部件上具有二十八宿和在天赤道南、北的星官的标志，它实际上相当于球面星图，与近代天文学中的天球仪情况是类似的。比后者更胜一筹的是，它还能在漏壶中流出的水的带动下转动以模拟星空的周日视运动，并取得良好的效果，充分显示了中国古代在天文学和机械学方面的高超水平。我国历史上这样的水运浑象制造过很多台，但均未能保存下来，使现在对其的研究只能根据史籍上的记载，而这些记载大都十分简要，尤其是未涉及其主要部件上恒星标志的分布情况，从而不能提供当时人们对恒星位置的掌握情况的有关信息，这是十分可惜的。不过在记述中谈到将水运浑象所模拟的天象与实际情况比较既然能够达到“与天相应”的效果，就表明这些恒星标志的位置还是达到一定的精度水平的。




东汉时恒星观测的水平也同样能在历法的编制工作中体现出来。这主要表现在人们对太阳在恒星间的相对位置的认识上。据《续汉书·律历志中》记述：“至元和二年，太初失天益远，日、月宿度相觉浸多，而候者皆知冬至之日日在斗二十一度，未至牵牛五度，而以为牵牛中星，后天四分日之三，晦朔弦望差天一日，宿差五度。”指出在东汉初期的元和二年(85)人们已经发现太初历所确定的冬至点已与实际位置有了 5 度的偏差，这显然是长期观察太阳与恒星相对位置变化的结果。如果没有对恒星位置的精确了解，要取得这样的认识是不可能的。在《续汉书·律历志中》的记述中还引用了比张衡稍早的历法学家贾逵的一段关于历法的议论，其中



① 岑仲勉：《中山大学学报》，1956 年，第 1 期。

谈到:“今史官一以赤道为度,不与日月行同,其斗、牵牛、东井、舆鬼,赤道得十五,而黄道得十三度半;行东壁、奎、娄、轸、角、亢,赤道七度,黄道八度;……”虽然叙述的是太阳、月亮在恒星之间不同的位置时用天赤道、黄道分别观察它们会有不同的结果,但它实际上反映了在恒星观测过程中用两种坐标来衡量所出现的差异。因为只有后者才能通过直接测量而得到,太阳、月亮的运动也只有间接地从其在恒星间的相对位置变化才能得到反映。这一认识与近代天文学中的黄赤道差是类似的,具体情况我们在前面谈到准黄道天文坐标系时已有了介绍。前面说过,由于历法工作的需要,东汉永元十五年(103)专门制造了一台黄道铜仪,它实际上就是一台具有黄道环的浑仪。在该黄道环上根据二十八宿距星的投影位置进行了分划刻度,就是二十八宿的黄道宿度,其具体数据在《续汉书·律历志中》里有具体的记述。《续汉书·律历志下》中所引东汉四分历除有同样的数据与二十八宿的赤道宿度并列外,还列出了一年中二十四节气时太阳在恒星之间的位置和相应的昏、明中星,表示太阳位置的入宿度值精确到一度的$\frac{1}{32}$,昏、明中星也以少、半、太、强、弱表示到$\frac{1}{12}$度,它们均可表明当时的观测精度已经有了相当的提高,而这些都是与恒星观测有一定的关系的。

在东汉班固、班超、马续等人编撰的《汉书·天文志》中最早按时间顺序收录了西汉时各种异常天象出现的记录,开了在史籍中系统整理各种天象资料的先河。虽然这些天象记录绝大部分都是与占星术有关的内容,但从此以后历代的史籍中均保持了这一传统,给我们留下了丰富的天象记录资料,而这些资料的内容有相当多的给出了相应天象发生的位置,这就与恒星建立了联系,使这些记录除了可以用来研究现代天文学中的某些问题外,还对人们了解古代恒星观测的情况提供了某些有用的信息。人们可以通过它们了解恒星名称的变化、相对位置的情况及其在确定其他天体在天空中位置的作用等,从而也就可以从侧面对当时的恒星观测情况的演变有所认识。由于天象资料记录异常丰富,可以说是浩如烟海,内容又极其繁杂,这里也就不多加讨论了。从西汉司马迁所著的《史记·天官书》开始,在某些史籍中与天文有关的部分收集有对恒星位置情况的叙述。虽然这些叙述大部分没有提供具体的位置数据,给研究当时人们在恒星观测上的具体情况带来了困难,但通过这些叙述还是能够了解历史上对恒星相对位置的掌握情况以及这些恒星在建立天文坐标系中的作用。与此类似,历代也曾流传下某些天文工作者在辨认恒星的过程中创作的文字叙述,在以后我们将择其要者予以专门的评述。





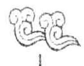


## 第四节　三国魏晋南北朝时期

### 一、陈卓对恒星观测工作的贡献

对于恒星观测工作来说，三国和魏晋南北朝时期处于承上启下的阶段。其主要特点就是对从战国时期以来各个天文学流派在恒星观测方面的成果进行系统的整理、归纳、综合，形成了一个相对完整的恒星位置体系。这一工作主要是由三国时吴国的天文学家陈卓完成的。当时流传于世的恒星位置的有关数据除了我们在上面已经说过的石氏、甘氏星经外，还有一种巫咸氏的恒星位置体系，通常称其为《巫咸星表》。巫咸相传是商代的天文学家，《史记・天官书》中谈到以前的天文学家时就有"昔之传天数者：……殷商，巫咸；……"的记述。《史记正义》中说："巫咸，殷贤臣也，本吴人，冢在苏州常熟海隅山上，子贤，也在此也。"但关于其在天文学中的贡献的资料却尚未发现，很可能他只是在占星术方面有过某些作为。通常认为所谓《巫咸星表》不过是后人的托名之作。潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中通过研究认为它可能就是陈卓通过观测得到的数据而假托巫咸之名流传于世的。具体情况我们以后在述及古代星表的有关情况时拟再做讨论。陈卓是三国时吴国人，曾任吴国的太史令，吴亡后又曾任西晋、东晋时的太史令，在官方天文机构中长期发挥过重要的作用。据《隋书・经籍志》记述，他曾著有《天文集占》十卷、《四方宿占》一卷、《五星占》一卷、《天官星占》十卷；并记述了《石氏星经》七卷。在宋代郑樵编撰的《通志》中则列出了他的又一部著作名称——《星述》一卷。《开元占经》则有"吴太史令陈卓与王蕃大同，作《浑天论》"的叙述。潘鼐的《中国恒星观测史》一书中则说到他还著有《五星出度分记》五卷、《悬捻记》三十卷、《陈卓分野》和《甘、石、巫咸三家星官》等天文著作。从著作名称上看，其中有相当部分虽然带有浓厚的星占学色彩，但还是与恒星的观测有密切的关系。就以《陈卓分野》为例，它显然是叙述占星术中关于分野的情况的。所谓分野也就是天上的恒星区域与地面上行政区域的一种对应关系，通过天空中某一恒星区域出现的天象情况就可预卜地面上某一邦国州郡的吉凶事件。它显然是属于占星术的范畴，没有什么科学上的意义。然而从《晋书・天文志上》中列举十二次度数时说到："魏太史令陈卓更言郡国所入宿度，今附而次之。"在其后的叙述中则列出了十二次与二十八宿和十二辰的对应关系、相应的分野。在其后"州郡躔次"一节中又以"陈卓、范蠡……并云"的字样列出了各州郡所对应的二十八宿度数，这些看来都是《陈卓分野》中的有关内容，它表明在人们进行这种星占活动时需要确定某种天象在恒星之间的位置情况，这就必

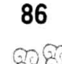




然与恒星观测建立起联系。由此可见，陈卓在恒星观测方面是做过大量工作的，但其最突出的是对甘氏、石氏、巫咸氏三家星经的整理工作中所作的贡献。在《晋书·天文志上》中记述有："后武帝时，太史令陈卓总甘、石、巫咸三家所著星图，大凡二百八十三官，一千四百六十四星，以为定纪。今略其昭昭者，以备天官云。"其后就以"中宫"、"二十八舍"和"星官在二十八宿之外者"三个标题分别叙述了恒星在天空中的位置情况，但未列出相应的数据。关于陈卓的这项工作在《隋书·天文志上》中也有记述："三国时，吴太史令陈卓，始立甘氏、石氏、巫咸三家星官，著于图录。并注占赞，总有二百五十四官，一千二百八十三星，并二十八宿及辅官附座一百八十二星，总二百八十三官，一千五百六十五星。"指出陈卓从事这一工作时不但有文字记述，还绘制了星图，并注解了星占的赞语，可惜都未能流传下来。《隋书·天文志》中也有对恒星位置情况的叙述，其情况与《晋书·天文志》基本相同，这是与它们的作者和材料均相同是有关的。陈卓对三家星经的系统整理工作在我国古代恒星观测的历史上具有相当重要的影响，它在相当长的一段时间内成为人们描述恒星情况的标准，故《晋书·天文志上》中讲它"以为定纪"，《隋书·天文志上》中说到南北朝刘宋时的一台浑象时指出："宋元嘉中，太史令钱乐之所铸浑天铜仪，以朱黑白三色，用殊三家，而合陈卓之数。"即使到了宋代，著名天文仪器制造家苏颂在其所著《新仪象法要》中也说："太史令陈卓总三家所著星图，方具上数，至今不改。"可见其影响之深远。

虽然陈卓对三家星经整理所写出的原著早就遗失，但在《开元占经》中分别有以"石氏中官占"、"石氏外官占"、"甘氏中官占"、"甘氏外官占"、"巫咸中外官占"为标题列出的各恒星位置情况，对二十八宿及辅官附座星官则另行列出。刘金沂与王健民合作所著《陈卓和甘、石、巫三家星官》一文[①]中对这些记述进行了统计和分析，得到这些恒星属于石氏的有 92 个星官共 632 颗恒星，相应于甘氏、巫咸氏的则分别是 118 个星官、506 颗恒星和 44 个星官、144 颗恒星。加上二十八宿及其辅官附座的 28 个星官、182 颗恒星，共计有 282 个星官、1 464 颗恒星，如果加上在尾宿第二星附近而又未被统计过的神宫星官 1 星，则星官总数为 283，恒星共 1 465 颗，这就与《隋书·天文志上》中的记述完全符合了。[②] 作者据此认为唐代瞿昙悉达在编撰《开元占经》时是以陈卓的总结作为依据的，看来是很有道理的。





## 二、浑象、浑仪的制作简况

在魏晋南北朝时期，相当于球面星图的浑象就制作过多台，除上面已经说过南

---

① 见《科技史文集》第 6 辑，上海科技出版社，1980 年。

② 据研究，《隋书·天文志上》中的星数 1 565 显然是 1 465 之误。



北朝的刘宋时太史令钱乐之制作过用三种颜色标识石、甘、巫咸三家星的浑象外，据《晋书·天文志上》记述，在其前就有三国时吴国的陆绩曾制作过一台“形如鸟卵”的浑象，当时的中常侍王蕃曾在其所写文章中指出了其不合理之处，并谈到：

古旧浑象以二分为一度，凡周七尺三寸半分。张衡更制，以四分为一度，凡周一丈四尺六寸一分。蕃以古制局小，星辰稠概，衡器伤大，难可转移，更制浑象，以三分为一度，凡周天一丈九寸五分四分分之三也。

看来王蕃也制作过一台浑象。另外，《隋书·天文志上》中还谈到：“吴时又有葛衡，明达天官，能为机巧。改作浑天，使地居于天中。以机动之，天动而地上①，以上应晷度，则乐之之所放述也。”可见葛衡的“浑天”情况与张衡的水运浑象大同小异，应也是与球面星图相当的。《隋书·天文志上》还记述了上面提到的刘宋钱乐之所造浑象的有关情况：

宋文帝以元嘉十三年，诏太史更造浑仪，太史令钱乐之，依案旧说，采效仪象，铸铜为之。五分为一度，径六尺八分少，周一丈八尺二寸六分少。地在天内，不动，立黄赤二道之规，布列二十八宿、北斗极星。置日月五星于黄道上。为之杠轴，以象天运。昏明中星，与天相符。梁末，置于文德殿前。

在其后还记述有钱乐之制作又一台浑象：

到元嘉十七年，又作小浑天，二分为一度，径二尺二寸，周六尺六寸。安二十八宿中外官星备足。以白青黄等三色珠为三家星，其日月五星，悉居黄道。亦象天运，而地在天中。

其情况也是类似的。到南北朝梁代末年官方仍然保留了一只木制的浑象，这也记述于《隋书·天文志上》中：




浑天象者，其制有机而无衡，梁末秘府有，以木为之。其圆如丸，其大数围。南北两头有轴。遍体布二十八宿、三家星、黄赤二道及天汉等。别为横规环，以匡其外。高下管之，以象地。南轴头入地，注于南植，以象南极。北轴头出于地上，注于北植，以象北极。正东西运转。昏明中星，既其应度，分至气节，亦验，在不差而已。

除了官方制作浑象外，民间也有过成功的例子。南朝的齐、梁时代著名道教思想家陶弘景就曾制成过一台高3尺左右的浑象：“地居中央，天转而地不动，以机动之，悉与天相会。”②以上这些浑象都是用漏壶中的水带动以模拟天空的周日视运动的，与实际天空进行比较，能在一定的精度范围内做到相对符合，这就要求浑象上

---

① 疑为“止”之误。

② 《南史·陶弘景列传》。

的恒星标志的位置比较准确，在这一时期中制作了相当数量的浑象，表明人们对恒星位置的情况了解得相当透彻。只是这些浑象均未能保存下来，也没有留下有关恒星标志的数据，使我们难以了解到当时的具体情况。

与恒星观测相联系，魏晋南北朝时期也制造了数台大型天文观测仪器——浑仪。据《隋书·天文志上》介绍，东晋时前赵刘曜政权的史官丞孔挺就在光初六年(323)制作过一台，其结构已相当复杂，虽然尚未像后来那样具有内外三层的结构，但其基本结构已十分相似。这台浑仪到南朝的梁代仍安放在华林重云殿前。北朝的北魏天兴初年，官方曾命令太史令晁崇制作浑仪，“以观星象”。十多年后，在永兴四年(412)又命令制造“太史候部铁仪”，这是一台以铜、铁为材料制作的浑仪，其构造与上述孔挺所制浑仪相同。据《新唐书·天文志一》记述，它是由斛兰负责制作的。这台浑仪使用时间很长，隋代时仍在太史候台使用，“灵台以后魏铁浑天仪，测七曜盈缩，以盖图列星座，分黄赤二道距二十八宿分度，而莫有更为浑象者矣。”①可见它在恒星和日月五星的相对位置的观测上发挥了二百多年的作用，直到唐代才由新的浑仪所代替。值得一提的是，据《隋书·天文志中》记述：

> 至后魏末，清河张子信，学艺博通，尤精历数。因避葛荣乱，隐于海岛中，积三十许年，专以浑仪测候日月五星差变之数，以算步之，始悟日月交道，有表里迟速，五星见伏，有感召向背。言日行在春分后则迟，秋分后则速。

指出张子信发现太阳的周年视运动不均匀也是使用浑天仪观测太阳和恒星相对位置变化情况的结果。由于他是隐于海岛上观测，这台浑仪应是民间制作的小型仪器，但精度是相当高的，从而可以对日月五星在恒星间的位置变化进行观察研究。以上这些浑仪的制作为恒星观测工作提供了必要的手段。

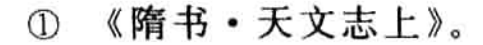




## 三、夜半中星和北极星的观测

为了确定太阳在恒星中间的位置，当时人们采取了观测夜半中星的方法。所谓夜半中星也就是在午夜时观察天赤道上恰与南北方向子午圈相交的一点的坐标，显然，它需要利用漏壶这样的计时工具来确定午夜时刻。观测到夜半中星后天赤道上与其相对的一点就是太阳的位置。据《新唐书·历志三上》记述：

> 大同九年，虞劆等议：“……然日之所在难知，验以中星，则漏刻不定。汉世课昏明中星，为法已浅。今候夜半中星，以求日冲，近于得密。……臣等频夜候中星，而前后相差或至三度……”



① 《隋书·天文志上》。



表明在南朝的梁代，人们已经采用这种方法了，它比汉代观测昏明中星的做法有了一定的提高。但由于漏壶计时精度的限制，其精度水平依然不是太高。后面我们还会讲到，东晋时后秦政权的姜岌曾提出一种观测月食时月亮在恒星中间的位置，根据当时太阳与月亮的位置正相对的道理可以精确地确定太阳在恒星间的位置。这一方法在中国古代具有相当重要的影响。后面我们也会说到，晋代的天文学家虞喜发现了岁差现象，南朝刘宋时著名天文学家、数学家祖冲之又最早将岁差改正运用到他所编撰的历法大明历中。这些实际上都与人们对恒星位置的了解已十分精密有密切的关系。

由于受岁差现象的影响，北天极在恒星之间的位置也是有变化的，从而在不同的历史时期北极星就可能不是同一颗恒星，有时虽然是同一颗恒星，但其与北天极之间的角距离也是不同的。春秋战国时期或更早时的北极星是帝星（小熊座β星），到汉代时它离北天极的角距已经比纽星（鹿豹座 $32^2$ H 星，在 Boss 星表中的星号为 GC17443）大了，以后者为北极星就更为合理了。虽然在战国后期有人就已经认识到北极星与北天极之间有一定的距离，前者有绕后者的周日视运动，但人们为了观察天象的方便，仍然经常是用北极星来代表北天极的位置的。长此以往两者在概念上也就出现了混淆。故在《隋书·天文志上》中有："北极，辰也。其纽星，天之枢也。天运无穷，三光迭耀，而极星不移。故曰：'居其所而众星拱之。'贾逵、张衡、蔡邕、王蕃、陆绩，皆以北极纽星为枢，是不动处也。"即使有人能将这两者区分开来但也还没有能测量出两者之间的角距离。到了南北朝时期这一情况才有了改变。南朝梁代天文学家祖暅最早进行了这一测量。也是在《隋书·天文志上》中就记述有："祖暅以仪准候不动处，在纽星之末犹一度有余。"但对于他是如何进行观测的则没有详加叙述。他是否使用了某种测角仪器进行了直接的测量，看来是不容易搞清楚了。不过在《隋书·天文志上》"地中"一节所引祖暅所著错综经注的内容中有将圭表称为"仪表"的叙述，表明这一测量也有可能是使用了圭表。而在《隋书·天文志上》叙述祖暅对天的认识时记述了一种测量"北辰纽星高地数"的方法，从而提供了他用圭表进行这一测量时可能采用的方法的线索。测量北辰纽星高地数的方法是：

> 推北极里数法，夜于地中表南，傅地遥望北辰纽星之末，令与表端参合。以人目去表数及表高各自乘，并而开方除之为法。天高乘表高数为实，实如法而一，即北辰纽星高地数也。①

撇去叙述中的有关计算不谈，我们可以知道，祖暅是伏在地面上并以圭表顶端作为




① 《隋书·天文志上》。

参照物来观测纽星的，当人眼、圭表顶端和纽星成一直线时就可以确定在地面上的一个相应位置。不同时间观测也就会有不同的位置，据此也就可以将位置的变化范围换算成角度，从而得到纽星与北天极的角距离。当然这也只不过是提供了一种可能性而已。由于没有确凿的文字记载，祖暅的观测结果是如何得到的尚不能做出最后的结论，然而这一测量作为我国天文学发展史上的第一次，显然是具有相当重要的意义的。

## 第五节　隋唐时期

### 一、三垣二十八宿恒星系统的形成

隋唐时期的恒星观测以恒星位置体系的进一步完善为主要特点。一方面的表现是三垣二十八宿恒星坐标系统的最后形成，这种恒星区域的划分方法一直沿用到近代；另一方面是进行了一次大规模的恒星位置观测工作，在恒星观测史上具有极为重要的影响。

三垣二十八宿恒星坐标系统最早出现在《步天歌》中。《步天歌》是将全天的恒星星官分别隶属于31个恒星区域来进行叙述的，其中28个区域是按照二十八宿的顺序从西向东排列的，各区域也分别用二十八宿的名称来称呼；另3个区域则分别是相当于拱极星区的紫微垣、位于北斗七星以南的太微垣和在房、心两宿东北的天市垣。这31个恒星区域就统称三垣二十八宿。它们虽然都是借用了某些星官的名称，但其范围要比原来的星官要大得多。《步天歌》中按东方、北方、西方、南方的次序先后各叙述了二十八宿对应天区中各星官的位置、星数等有关情况，最后才分别谈到太微、紫微和天市三垣的相应情况。其具体内容我们在以后还要再行叙述，这里也就不多谈了。《步天歌》的作者目前尚无定论。按照南宋郑樵所撰《通志·天文略》中的记述："隋有丹元子者，隐者之流也，不知名字，作《步天歌》。见者可以观象焉。王希明纂汉、晋志以释之，《唐书》误以为王希明也。"认为是隋代丹元子所作。但在其《通志·艺文略》中却记述有："《丹元子步天歌》一卷，唐右拾遗内供奉王希明撰。"《新唐书·艺文志》中也有"王希明《丹元子步天歌》一卷"的记述。南宋王应麟所辑《玉海》中则记述："《中兴书目》：《步天歌》一卷，崇文目同，题右拾遗王希明撰，图二十八宿及太微、紫微、天市垣各总为之歌。"宋代陈振孙的《直斋书录解题》和晁公武的《郡斋读书志》中均谈到不知《步天歌》的作者是谁，但有一种说法认为是唐代自称为丹元子的王希明所著。清代的纪昀在《四库全书总目提要》中认为："丹元子为隋人，不见他书，不知樵何所据。使果隋时所作，不应李淳风不知



其人。”清代钱大昕的《十驾斋养新录》中则也提出了疑问：“使丹元果隋人，则唐初李淳风修隋志，何不述三垣之说乎？”都与《通志·天文略》中所述隋代丹元子作《步天歌》的说法不同，而认为是唐代王希明所作。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中根据《隋书·经籍志》、《隋书·天文志》中均未记述到《步天歌》及三垣二十八宿恒星坐标体系在隋代尚未成熟的情况也持相同的观点，并根据《新唐书·艺文志》中有：“王希明《太乙金镜式经》十卷，开元中诏撰”的记述，认为“它实际上是8世纪前期的唐代作品。”即断定唐代开元时的王希明是《步天歌》的作者。潘鼐也不排除隋隐者丹元子做粗略《步天歌》由王希明补充、润释成现存版本的可能性。虽然以上所引的文献资料均支持《步天歌》系王希明所著的观点，但它们似均出于一源，并不能完全排斥《步天歌》确是隋代民间天文学家丹元子所著的可能性。正因为他是民间天文学家，“隐者之流也”，其著作的流传也就受到一定的限制，官方天文界对其没有了解或者知道有这一著作但不予正式认可的情况也不是难以理解的事情。而且民间天文学著作一开始总是以口传笔抄的形式传播，在相当长的时期内不能以出版物的模式问世也是毫不奇怪的，这样在《隋书·经籍志》中没有记述似也十分自然。由此看来，认为《步天歌》必是唐代王希明所作的理由并不是很充分的。而在人们已经认为《步天歌》是王希明所作的情况下，作为南宋治学严谨的史学家的郑樵绝不可能毫无根据地在《通志·天文略》中将这一认识作为错误来予以纠正，虽然我们并不知道郑樵这样做的根据究竟是什么。基于这样的情况，我们更倾向于《步天歌》是隋代民间天文学家丹元子所作的看法。当然，要做出最后的结论还是相当困难的。

## 二、开元年间大规模恒星观测工作




隋唐时期的大规模的恒星位置观测工作是在唐代开元年间由著名天文学家一行主持进行的。由于唐王朝建立后采取了一系列进步的政策，励精图治，巩固政权，取得了政治开明、社会安定、经济发展的效果，从而也对天文学的发展提供了物质上的基础。据《新唐书·天文志一》记述，在贞观年间由著名天文学家李淳风设计制作了一台浑仪，它已具有“表里三重”的结构，从外向里分别是与地平坐标相应的六合仪，具有可转动的日道环、月游规、璇玑规的三辰仪和作为观测瞄准系统的四游仪。与后来的浑仪对照比较，就可知道这台浑仪的结构已经是相当完备了。到了开元年间为了制定新历法的需要，著名天文学家一行又与天文仪器制造家梁令瓒合作制作了一台颇有特色的浑仪——黄道游仪。其黄道环是可以相对于赤道环移动的，从而能随着岁差现象的变化而做相应的调整。由于这里我们感兴趣的只是当时人们用来进行恒星观测的仪器的有关情况，这两台浑仪的具体结构等有

关情况留待后文介绍天文仪器时叙述，这里就不多说了。然而这两台浑仪的制作对恒星位置的观测在设备上提供了必要的条件是显而易见的。一行与梁令瓒还合作制作了一台水运浑象。据《旧唐书·天文志上》记述：

又诏一行与梁令瓒及诸术士更造浑天仪，铸铜为圆天之象，上具列宿赤道及周天度数。注水激轮，令其自转，一日一夜，天转一周。……既与天道合同，当时共称其妙。铸成，命之曰水运浑天俯视图，置于武成殿前，以示百僚。

它显然与以前谈到的水运浑象一样，都是一种可以模拟天空运动的球面星图。

开元十一年(723)，黄道游仪制造成功，一行就主持了一次使用它来进行的恒星位置观测工作，得到了一系列恒星位置的有关数据。然而可惜的是这些数据未能全部保留下来，只是在《旧唐书》、《新唐书》的天文志中保留有二十八宿的完整位置数据和某些恒星位置的零散数据或大致描述。由于这些数据与以前的观测有较大的差别，为了比较，也以“旧经”、“旧图”的字样列出了以前观测所得到的数据。也正是通过这次观测，人们发现了恒星的位置数据并非一成不变的，并意识到这些变化并不是由于观测过程中的误差而引起的，而是恒星位置数据随着时代的不同本身所产生的变化。于是人们也就对经常性进行恒星位置的观测工作的必要性有了新的认识。历史上各个朝代的官方天文机构都组织过大规模、系统的恒星位置的观测工作，可以说都是肇端于这一认识的。由此我们也可以看到一行所主持的这一次测量在我国古代恒星观测史上的重要地位。由于中国古代对岁差现象的认识仅只是局限于冬至点在恒星之间的位置在东西方向上的位移，这样人们也就很难认识到岁差现象还会引起在不同的时代恒星位置数据的变化，从而也就不可能从根本上认识这一现象并掌握其变化规律，看来这是当时历史条件的限制，我们不能苛求于古人。对于这次恒星观测所发现的恒星位置变化，曾经有人认为是一行最早发现了恒星自行现象，由于恒星的自行都相当微小，通常都小于每年 $0''.1$，自行等于或大于每年 $1''$ 的恒星也只有 400 多颗，它们的位置不可能在 1 000 年左右的时间中有数度甚至更大的变化，认为其是自行引起的变化看来是难以说得通的。关于这些数据的分析研究我们准备在后面叙述星表时再做讨论。



据《新唐书·天文志一》记述，一行还曾经组织过一次大规模的天文大地测量工作。他曾经派遣使者大相元太到南方去进行观测，从而对南方天空中的恒星情况有一定的认识：

使者大相元太言：“交州望极，才高二十余度。八月海中望老人星下列星粲然，明大者甚众，古所未识，乃浑天家以为常没地中者也。大率去南极二十度已上之星则见。”



这是史籍中对南天恒星进行观察的第一次记述。

一行还曾经为了研究月亮运动的情况绘制过36幅星图。这也是记述在《新唐书·天文志一》中：

> 及一行考月行出入黄道，为图三十六，究九道之增损，而盖天之状见矣。……乃步冬至日躔所在，以正辰次之中，以立宿距。按浑仪所测，甘、石、巫咸众星明者，皆以篾，横考入宿距，纵考去极度，而后图之。

记述中还称这为盖图，并谈到它是以北天极为中心的一种圆形星图。至于36幅星图是否有所不同，在记述中没有涉及，很可能各恒星的标识是基本相当的，但月亮在这些恒星标识间的相对位置是不同的，从而可用来研究月亮的运动情况。有关的叙述还谈到盖图中坐标的设定方法和黄道位置的确定，表明它是一种正规的星图，可惜这36幅盖图均未能流传下来，研究其在天文学上的意义也就存在着不少困难。

## 三、隋唐时期的星图和《开元占经》

隋唐时代的星图除了在《新唐书·天文志一》中所叙述的盖图外，还有一种叫作横图的。在《隋书·经籍志》中就有“天文横图一卷，高文洪撰”的记述。在《新唐书·艺文志》、《旧唐书·经籍志》中也有类似的记述。20世纪初，英国的斯坦因从我国甘肃敦煌莫高窟廉价收购了一卷星图，现藏于伦敦的英国图书馆。据研究，它可能是唐代初期的作品。其绘制方法是按照十二次的顺序绘出了12个星区的恒星相对位置图，并配以有关辰次的文字说明，从情况上看来可能就是采用横图的形式。最后则绘出了紫微垣中各星的相应情况。关于该星图的具体情况，我们在谈到星图时再做探讨。关于盖图，在《隋书·天文志上》就有记述：




> 高祖平陈，得善天官者周坟，并得宋氏浑仪之器。乃命庾季才等参校周、齐、梁、陈及祖暅、孙僧化官私旧图，刊其大小，正彼疏密，依准三家星位，以为盖图。旁摛始分，甄表常度，并具赤黄二道，内外两规。悬象著明，躔离攸次，星之隐显，天汉昭回，宛若穹苍，将为正范。

其后“盖图”一节中也谈到：“昔者圣王正历明时，作圆盖以图列宿，极在其中，回之以观天象。”表明在此以前的星图已经早就采用了盖图的形式，在隋唐时期再出现了横图，将天赤道附近的恒星依次绘制在长卷上，就能更清楚地表现各恒星在天空中的位置情况，克服了盖图在表现天赤道以南的恒星时其间距与实际情况不相符合的缺陷，应该说是一个明显的进步。

在唐代，中外天文学的交流形成了一个高潮。印度的天文历法知识在我国有了流传，也有一些印度的天文学家来到了中国，他们有的数代在唐代官方天文机构

中任职，为中国的天文事业也同样为恒星观测工作作出了贡献。其中比较突出的是瞿昙悉达。他以对中国古代天文学文献的浓厚兴趣收集整理了各种天文和星占资料，编纂了《开元占经》一书，使许多古代的天文资料得以保存。其天文学方面的内容相当广泛，涉及天文名词、宇宙学说、日月五星的运动和恒星位置数据等，并对麟德历、九执历做了介绍，列出了一些天文历法的基本数据。这部著作对恒星观测的最大贡献是保存了甘氏、石氏和巫咸氏三家星经的有关资料，尤其是人们公认为世界上最早的恒星位置表的《石氏星经》中 121 颗恒星（现存本中缺 6 颗星）的位置数据就是由其保留下来的，这为人们对古代恒星观测工作的研究提供了宝贵的资料。

## 第六节　两宋时期

### 一、天文观测仪器的制作与改进

北宋时期是中国古代恒星观测工作的黄金时代。这不但表现在观测手段的不断更新上，还表现在进行过多次大规模的恒星位置的观测工作，观测的精度水平有了相当的提高，取得并流传下来一批具有相当水平的恒星位置数据。

由于北宋时的社会生产力得到了很大的发展，为天文观测仪器的制造提供了充分的物质基础。需要耗用 2 万多斤铜的浑仪在北宋时期就先后制造了 6 台。在浑仪的制造过程中，其结构不断得到改进，使其更趋完善合理，从而为恒星观测工作提供了可靠的保证。





据南宋王应麟所撰《玉海》记述，北宋最早的浑仪是宋太宗至道元年（995）由出自民间的天文学家、当时任司天秋官正的韩显符主持制造的。其后在宋真宗大中祥符三年（1010）他转任司天冬官正期间又主持制造了一台铜浑仪。这两台铜浑仪分别置于司天监和龙图阁。但在《宋会要辑稿》中的叙述为：

> 至道中，韩显符新铸浑仪，其制用双规，诏司天监筑台置之，大中祥符三年造成，诏龙图阁移之。其制为天轮二，各分三百六十二度，又为黄、赤道，立管于侧轮中，测日月星辰行度，皆无差。

看来似有两台浑仪是同一台之意思，即至道元年铸造工艺完成，大中祥符三年才最后完成，并从司天监移到龙图阁安置。但从铸成到最后完成，其间相隔有十五六年，似也难排斥在这么长的时间中确有两台浑仪的可能性。然而不管其是一台还是两台，根据《玉海》和《宋史·天文志一》中对仪器构造的介绍可知，它并无比以前的浑仪优越之处。《宋史·天文志一》所引北宋著名科学家沈括所写的《浑仪议》中



对其有这样的评论："至道中，初铸浑天仪于司天监，多因斛兰、晁崇之法。"认为它与北魏时斛兰、晁崇所制的浑仪基本相似。《宋史・律历志九》中叙述皇祐浑仪时也提到了它："真宗祥符初，韩显符作浑仪，但游仪双环夹望篇旋转，而黄、赤道相固不动。"可见，尽管在《宋书・天文志一》中说它"其要本淳风及僧一行之遗法"，但其结构与李淳风和一行、梁令瓒的浑仪相比还是有一段距离的，它并没有采用李淳风所确立的"表里三重"的结构，而在对该仪器结构的介绍中也确实没有黄道环、赤道环可以移动的记述。由此可见，韩显符的浑仪还是相当落后的，甚至比唐代浑仪还退步了，故它也就难以对恒星观测工作有明显的推动作用。只是由于唐代浑仪随着社会动乱的亡失，它仍然可以发挥一定的作用而已。

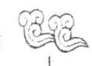
北宋皇祐初，日官舒易简、于渊、周琮奉命参照李淳风、一行浑仪的情况，制作了一台浑仪，于皇祐三年(1051)完成。其结构比韩显符的浑仪有了较大的进步，但从其结构情况来看，它与一行、梁令瓒制作的黄道游仪是相去不远的，只是它将时刻标识不再置于地平环上而是放在与天赤道平行的天常环上，这显然是科学合理的，对于测量时刻(当然也包括通过观测恒星来确定时刻)来说是有利的。

熙宁年间，著名科学家沈括对浑仪的结构做了大刀阔斧的改革。宋神宗熙宁七年(1074)他主持制作的浑仪在结构上就有了相当多的变动，在他所写的《浑仪议》中对其在研究有关浑仪的问题中的心得做了总结，归纳出 13 条，其中有些就是与恒星观测有关的。《浑仪议》的主要内容收录在《宋史・天文志一》中，据此我们可以了解其大致情况。其中有些是关于正确安置浑仪的，这对减小观测的系统误差提高观测的精度水平显然是具有重要的意义的。有的是最大限度地减小浑仪中规环对观测目标的掩蔽，使其更加有利于观测。直接与恒星观测有关的是沈括主持制作的浑仪上对用来对准观测目标的窥管所做的改进，原来窥管的管径是为了观测太阳、月亮的需要而使在观测时能在视场中看到其整个圆面而确定的，但两端管径均相同则会引起由于观测者眼睛位置不在其下端的中心处所产生的误差，沈括认为其误差可达 3 度，他将下端处的孔径缩小也就相应地减小了这一观测误差：

> 凡求星之法，必令所求之星正当穿之中心。今两端既等，则人目游动，无因知其正中。今以钩股法求之，下径三分，上径一度有半，则两窍相复，大小略等。人目不摇，则所察自正。

这是相当有道理的。另外，沈括还改变了赤道环、黄道环的位置，使它们与窥管的两端更为接近，从而使观测时读取数据可更为方便准确。其规环上有齿状的分度标志，也利于夜间观测恒星时可用手摸的方法进行读数。

沈括制作的熙宁浑仪的结构有较多的变动也并非完全是好事，在南宋王应麟的《玉海》中就谈到：

熙宁中旧器坏，沈括更造，以意增损，器成数年未能定，与浮漏、景表不应。陈襄奏：旧浑仪坏不可用，而后所造新仪考之又不合，愿付欧阳发详定。从之。发较三家，考古法先为定仪奏之。……上以为然，遂命铸新仪、漏、表，集其说，号《法要》。

表明由于熙宁浑仪在使用中仍然存在相当多的问题，于是就由欧阳发通过详定、制成模型后正式制作了元丰浑仪。虽然这台浑仪的具体构造尚未在史籍中发现，但从其制作过程看来，这台浑仪是继承了以前同类仪器的合理之处，经过细致慎重的工作而制造出来的，它相对来说应是比较完善的。

宋哲宗元祐七年(1092)由吏部尚书苏颂和吏部守当官韩公廉合作制造了一座水运仪象台。台的最上层安放有一台浑仪，通常被称为元祐浑仪。根据苏颂所著《新仪象法要》中对其的介绍可知，它对以前的浑仪所做的改进是增加了一套跟踪观测的系统。当浑仪的窥管中观测到某一个天体时就能够使其在相当长的时间中一直保持在视场中，这是用漏壶均匀流出的水流带动一系列传动机构而达到目的的。这对观测天体之间的赤经差是十分有利的。只要通过对某一天体的观测，在浑仪的赤道环上读取与该天体的赤经相应的位置数据，然后操作仪器使窥管对准另一个天体，并在赤道环上读取相应的数据，这样就能直接得到两天体的赤经差，不必考虑在操作仪器瞄准后一天体的过程中前一天体由于周日视运动而产生的位置变化。由于观测恒星的入宿度或二十八宿的宿度值本身也就是测量某一恒星与二十八宿距星之间的赤经差，利用元祐浑仪的这一跟踪观测系统来进行就显得十分方便，精度也会有相应的提高。

随着金人的南侵，北宋当时尚存的一些浑仪“悉归于金”[①]，这对处于中原地区的汉族天文学显然是一种损失，但对于北方民族天文学的发展可能还是起到一些促进作用的。虽然在《金史》中有关恒星观测工作的资料十分匮乏，但根据《元史·天文志一》中“宋自靖康之乱，仪象之器尽归于金。元兴，定鼎于燕，其初袭用金旧，而规环不协，难复施用”的记述可知，金代时这些仪器还是在使用的。





偏安江南的南宋小朝廷虽然财力不济，技术力量也难与北宋时相比，但仍然也制造过浑仪，只是其尺寸较小，结构上也没有值得一提的改进之处。据《宋史·天文志一》记述，南宋浑仪的制作经历过漫长的过程：

中兴更谋制作，绍兴三年正月，工部员外郎袁正功献浑仪木样，太史局令丁师仁始请募工铸造，且言：“东京旧仪用铜二万斤，今请折半用八千斤有奇。”已而不就，盖在廷诸臣罕通其制度者。……至十四年，乃命宰臣

① 《宋史·天文志一》。



秦桧提举铸浑仪，而以内侍邵谔专领其事，久而仪成，三十二年，始出其二置太史局。而高宗先自为一仪置诸宫中，以测天象，其制差小……

可见当时制作上的艰难，但制成以后还是能用于天文观测的。在《宋史·律历志十四》中还记述有在南宋乾道年间曾用浑仪观测月亮、土星、火星、木星在恒星之间位置的变化情况，并以1/12度的精度给出了若干观测得到的入宿度数据，这从一个侧面反映了作为恒星观测的主要手段的浑仪当时的观测精度还是达到了一定的水平的。

## 二、七次恒星位置测量

对于测量天体的位置来说，掌握恒星的位置数据，特别是确定二十八宿的宿度值是至关重要的。北宋时利用浑仪对其进行过多次观测。它们分别是在太平兴国年间(976—984)、大中祥符三年(1010)、景祐年间(1034—1038)、皇祐年间(1049—1054)、元丰年间(1078—1085)、绍圣二年(1095)和崇宁年间(1102—1106)进行的。其中最早的两次观测相应的文献资料很少。在《文献通考》中引用了《中兴天文志·总论》中的一段话："自唐天元中一行所造浑仪，其所测宿度已与旧经异，而宋太平兴国中，浑仪所测又与唐异。所争或一二度，或三五度。"可以证实太平兴国年间确对二十八宿宿度进行过观测。《宋会要》中记述："祥符三年七月五日，司天监冬官正韩显符上外官星位去斗、极度数。"潘鼐在其所著《中国恒星观测史》中认为这是韩显符利用其所制作的浑仪对恒星的去极度及与斗宿之间的度数，而斗宿恰是当时冬至点所在的位置，后者与近代天文学中的赤经意义相当，只是其度量的起点不同而已。看来是很有道理的。不过由于古代的记述没有标点，古人也常用斗极来作为北天极的一种专用名称，在《晋书·天文志上》述及虞耸的穹天论时就有"故斗极之下不为地中"的说法，并引用过桓谭"天之卯酉，常值斗极为天中"、"日出入乃在斗极之南"等语，故韩显符所观测的也可能只是去极度。然而不管如何，韩显符的观测显然并不只局限于二十八宿距星的位置，可惜的是有关的数据未能留传下来，对其情况也就难以了解得更加清楚。北宋时最后两次恒星观测也没有留下太多的资料。在《宋史·天文志一》中记述："绍圣二年，清台以赤道度数有差，复命考正。唯牛、尾、室、柳四宿与旧法合，其他二十四宿躔度或多或寡。盖天度之不齐，古人特纪其大纲，后世渐极于精密也。"可见绍圣二年曾对二十八宿宿度值进行过复测，并得到与以前大不相同的数据，可惜未能留下具体的数据资料。崇宁年间的恒星观测的有关资料在《宋史·律历志十二》所收录的姚舜辅编制的纪元历中保留了一些。该历的"赤道宿度"列出了二十八宿相应于天赤道的宿度值，在数值后附有少、半、太的字样使其精度达到1/4度。其数据也与以前有相当多的差异。在




其后还有一段文字记述：

> 按诸历赤道宿次，就立全度，颇失真数。今依宋朝浑仪校测距度，分定太、半、少，用为常数，校之天道，最为密近。如考唐，用唐所测；考古，用古所测；即各得当时宿度。

纪元历中虽然也列有二十八宿相应于黄道的宿度数据，但这是“依今历岁差所在算定”。看来它不是通过观测获得的，而是从赤道宿度转换的数据。至于崇宁年间是否对其他恒星也进行过测量的问题，由于缺乏资料，很难得出结论。但其二十八宿宿度值精确到 1/4 度，表明其观测精度已有了较大的提高。

北宋时期中间的三次恒星观测（即景祐、皇祐、元丰年间的观测）留存下来的有关资料相对地较为丰富一些。潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中将有关文献资料中所收集的景祐年间的观测数据进行了汇集、整理和考定，得到 334 颗恒星的位置校订值，并称其为《杨惟德星表》。潘鼐对皇祐年间的观测数据也做了类似的处理，得到 360 颗恒星的位置数据校订值，称其为《周琮星表》。这两部星表的有关情况我们准备在述及星表时再行讨论。元丰年间的恒星观测数据实际上留存下来的也很少。在《元史·历志一》中列出了其所测的二十八宿宿度数据，而《宋史》中却并无记载。但在宋代苏颂所著《新仪象法要》中所附全天星图中所用宿度值就是元丰年间观测的，通常人们认为星图中的恒星位置也是应与元丰恒星观测得到的数据对应的，在《新仪象法要》中也多次述及元丰浑仪和有关的观测；在所绘“四时昏晓加临中星图”和春分、夏至、秋分、冬至的“中星图”中均注有《礼记·月令》、“唐”和“今”的昏晓中星，并指明：“称今者是元丰所测见今星度也”。这些都表明元丰恒星测量在《新仪象法要》中具有相当程度的影响，《新仪象法要》中的星图直接反映了元丰恒星测量的成果。但由于该著作的现存本均为经过多次翻刻的版本，其星图中各星的位置能否真实地反映元丰恒星观测的情况看来是大有疑问的，不过由此了解其大致情况还是可能的。《新仪象法要》中星图的情况在下面我们叙述到星图时再行了解。



关于北宋对二十八宿位置数据的观测情况，通常人们总是根据其与用现代的公式和数据得到的计算值之间的偏离的大小来估计这些数据的精度，从而得到北宋的恒星观测精度在数十年中有了飞跃进步的结论。早在 20 世纪 60 年代初，薄树人在其《中国古代的恒星观测》[①]一文中介绍了日本著名科技史专家薮内清的有关计算时就谈到二十八宿的宿度值的平均误差从景祐年间的 0°.67 提高到崇宁年间的 0°.15。潘鼐在其与王德昌合作的《北宋的恒星观测及宋皇祐星表（上）》一

① 见《科技史集刊》，第 3 卷，1960 年。



文[1]和后来的《中国恒星观测史》一书中均叙述了对北宋二十八宿距星的观测数据的精度分析，其结果列于表4－1。据此，他认为在从景祐到崇宁的短短70年中二十八宿位置数据的观测精度有了飞跃的提高，宿度的观测精度提高了4.5倍，从标准偏离来看也提高了2.5倍。距星的去极度数据的观测精度则在20年不到的时间内提高了4.4倍，标准偏离也显示其提高了4.1倍。关于这个问题，最近有人提出了不同的看法。郭盛炽在其《北宋恒星观测精度刍议》[2]一文中认为，北宋时的天文观测仪器虽然在结构上有了相当程度的改进，但尚未发现有可使观测精度飞跃提高的技术措施。其二十八宿宿度数据中景祐、皇祐、元丰年间的只精确到1古度，崇宁年间的才以少、半、太的表示方式精确到1/4古度，如果用相同的有效位数的计算值与之比较，前三组数据的最大偏离均为1古度，第四组则为半古度。若将崇宁的宿度数据有效数字也取为1古度，则也有两宿的偏离为1古度。这似乎表明四组宿度数据的观测精度是相仿的。但四组数据与计算值之间出现最大偏离的频率逐组趋低可表明观测精度是逐步提高的。文章还认为前三组宿度数据可能并不反映实际观测的结果，它们只是在原有的宿度数据的基础上进行了个别的修改，只有崇宁年间的数据较为客观地反映了北宋宿度观测的实际水平，将其与前三组数据相比就会得到观测精度飞跃提高的不真实结论。文章通过粗略的精度分析认为北宋恒星观测的精度可能优于1/4古度，但存在较明显的系统误差。指出景祐年间去极度数据偏离较大可能是其系统误差较大的缘故。北宋时恒星观测的精度是否确有飞跃的进步的问题看来还很难做出最后的结论，这尚有待于人们对有关的资料做进一步的研究。

**表4—1　潘鼐对北宋二十八宿位置数据的精度分析**

| | 二十八宿宿度数据 | | | | 二十八宿距星去极度数据 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 景祐 | 皇祐 | 元丰 | 崇宁 | 景祐 | 皇祐 |
| 平均偏离 | 0°.72 | 0°.51 | 0°.40 | 0°.156 | 1°.63 | 0°.37 |
| 标准偏离 | 0°.37 | 0°.24 | 0°.21 | 0°.147 | 1°.23 | 0°.30 |

## 三、宋代浑象

作为球面星图的浑象在北宋时制造过4台。第一台是在太平兴国四年(979)由出自民间的天文学家和天文仪器制造家张思训设计制作的。据《宋史·天文志

① 见《科技史文集》第10辑，上海科学技术出版社，1983年。

② 见《天文学报》，1989年，第2期。

一》记述：这台浑象“布三百六十五度，为日、月、五星、紫微宫、列宿、斗建、黄赤道，以日行度定寒暑进退。”可见它具有表示恒星位置的标志。据记述，在机械的带动下它也能模拟星空的周日视运动情况，为了避免水的黏滞性随气温的变化对漏壶中水流出的速度的影响，这台浑象用水银来代替水以带动机械传动装置动作，达到了“无差失”的效果，表明它能较为理想地反映星空的变化情况。第二台浑象就是苏颂、韩公廉所制作的水运仪象台的中间一层中所安放着的。据苏颂所著《新仪象法要》记述：“浑象，上列二十八宿、周天度及紫微垣、中外官星，以俯视七政之运转……”其情况与以前的水运浑象并无太多的不同。但值得一提的是苏颂、韩公廉还制作过一台与传统截然不同的水运浑象。据《宋会要辑稿》中记述：

颂因其家所藏小样而悟于心，令公廉布算，数年而器成。大如人体，人居其中，有如笼象，因星凿窍如星，以备激轮旋转之势，中星昏晓，应时皆见于窍中。星官历翁，聚观骇叹，盖古未尝有也。

显然，这是一台人钻在象征星空的圆球中观察的浑象。圆球上按照恒星的相对位置情况凿上小孔，光透过这些小孔照进来就好像是缀满繁星的夜空，它通过机械带动运转就可以相对准确地演示星空的周日视运动，这与现今天文馆中的天象仪的功能十分相似。公元 1912 年，在西方也出现过一台在圆球上凿孔来表示恒星位置的天象仪，它虽然在照明与传动上均使用了电力，但其基本原理是类似的，它比苏颂、韩公廉的制作要晚了 800 多年。显然，要做到“昏晓中星，应时皆见于窍中”就必须在浑象上准确地按恒星位置凿孔，其与恒星观测的密切关系是不言而喻的。第四台浑象是在宣和六年(1124)动工制作的，其设计者是一个姓王的“方外之士”，据《宋书·律历志十三》介绍，这台浑象：





其圆如丸，具三百六十五度四分度之一，置南北极、昆仑山及黄、赤二道，列二十四气、七十二候、六十四卦、十干、十二支、昼夜百刻，列二十八宿并内外三垣、周天星。……某星始见，某星已中，某星将入，或左或右，或迟或速，皆与天象吻合，无纤毫差。

其情况与以前的水运浑象大同小异，也就不必多加讨论了。

南宋时期尚无资料表明官方的天文机构制作过水运浑象，但在《宋史·天文志一》中却有“其后朱熹家有浑仪，颇考水运制度，卒不可得”的记述，如果记录无误的话，这是南宋时唯一见于史籍的水运浑象，但对其具体情况未做叙述，也就难以对其来龙去脉和相应结构有所了解了。然而南宋时期却有一幅极为珍贵的星图留存至今，这就是著名的苏州石刻天文图。它是由任嘉王府翊善的黄裳在绍熙元年(1190)或稍后绘制，并在淳祐七年(1247)由永嘉人王致远主持刻制成石碑的。石碑原置于江苏省苏州市府学旧址的文庙戟门处，原有 4 块碑石，近代只余下 3 块，



"天文图"就是其中之一(另2块是"地理图"和"帝王绍运图")。根据潘鼐《中国恒星观测史》一书中列出的尺寸,该天文图碑高216厘米,宽108厘米,其上部是一幅圆形星图,其外径约91.5厘米,在其内直径为85.3厘米的大圆范围内以中国古代盖图的绘制方法画出了全天可见恒星的相对位置。其圆心处与北天极相当,其附近直径为19.9厘米的小圆范围内就是在北纬35°左右的地方所看到的永不下落的恒星所在的区域,即所谓"上规"(该小圆也就相当于现代天文学中的恒显圈);大圆范围以外的恒星则是在相应的地点所观察不到的,它们永远不会升到地平线上来,那个区域被称为下规(即相当于现代天文学中位于恒隐圈内的恒星区域);在上规和下规之间的恒星区域则称为中规。位于中规中部所绘的一个同心圆就是天赤道,有一与其大小相同的偏心圆就是黄道,另外还绘有银河的图形。在中规的范围内还绘有间距不等的28条辐射线,它们实际上是通过北天极和二十八宿距星的直线,与天空中通过这些距星的赤经圈相当。在其外端点处注有二十八宿的宿度值。星图最外圈的两个同心圆中则依次列出了十二辰、十二次和州郡躔次、分野的名称。星图的下半部刻有文字说明,概略叙述了有关的天文知识。从以上情况可以看出这幅星图确实是专业的天文星图,它具有相当高的科学意义。据研究,该星图的绘制仍是参照了北宋时期的观测结果,为研究北宋时期恒星观测的情况提供了极其珍贵的实物资料。对它的进一步研究留待后面再另行叙述。

## 四、对北极星的观测

北宋时对北极星也做了十分认真的观测。在《宋史·天文志一》中就有:

> 极星之在紫垣,为七曜、三垣、二十八宿众星所拱,是谓北极,为天之正中。而自唐以来,历家以仪象考测,则中国南北极之正,实去极星之北一度有半,此盖中原地势之度数也。




这段叙述虽然存在着概念错误,即认为北极星与北天极之间的角距离会随观测地点的不同而有差异,但还是很清楚地反映了当时人们的认识。这一错误概念的出现很可能只是由于这段叙述的整理者对天文学知识的缺乏所致,并不能认为是当时天文学的水平就是如此。《文献通考》中对皇祐年间对北极星的观测有一段记述是引自宋代《两朝天文志》的:"洎皇祐中,以铜仪管候之,其不动处犹在枢星之末一度余。"北宋时重修的《灵台秘苑》中也记述:"北极纽星,天之极也,……梁祖景烁以仪测之,及不动处一度余。皇祐测一度少强。"表明皇祐时的恒星观测对北极星和北天极的角距离是进行过仔细的观测的。其后在熙宁年间著名的科学家沈括也进行了认真的观测,但得到了全然不同的结果。据《宋史·天文志一》中所引沈括所写的《浑仪议》介绍:"臣考验极星更三月,而后知天中不动处远极星乃三度有余,则

祖暅窥考犹为未审。今当为天枢径七度,使人目切南枢望之,星正循北极枢里周,常见不稳,天体方正。”对这一工作,在沈括所著《梦溪笔谈》中也有较详细的叙述,谈到他在3个多月的观测中对极星的运行轨迹画了200多张图,最后才得出了那样的结论。利用现代天文学的有关公式计算可以知道北宋时纽星与北天极相距1.6度,但沈括经过认真、细致的观测却得到三度多的结果,确实令人不可思议。李志超曾在《沈括的天文研究　日食和星度》一文中对这一问题进行了探讨[①],认为沈括是将浑仪上北极轴枢的口径在子午圈上所占的角度看成是纽星周日视运动轨迹的角直径了,这也就相当于在几何学中圆周角应为圆心角的一半,却错将前者与后者等同了。看来这是很有道理的。沈括提出将浑仪的北极枢口径取为七度,这肯定是与浑仪上的角度对应的,也就与圆心角相对应,而观测北极星时却是在南极枢处,南、北极枢是分别在相应的规环直径的两端,在南极枢看到北极星沿着北极枢内边缘运动,则应是圆周角,观测到的北极星周日视运动轨迹的角直径就应为七度的一半,即3.5度,这样北极星与北天极的角距应为1.75度,这与实际情况也就比较接近了。李志超对这个问题的解释是相当圆满的。在同一篇文章中李志超还认为沈括在《浑仪议》中对窥管口径的描述也犯了同样的错误:“衡上下二端皆径一度有半,用日之径也。”将太阳的角直径取为一度半,是正确值半度的3倍。由于观测太阳时要将整个太阳圆面容纳在视场中,故视场的角直径应稍大于太阳圆面,故也就出现了3倍的情况。这从另一侧面证实沈括对极星与北天极角距观测的结果是实际大小的2倍的原因确如上述。尽管如此,沈括观测极星的这一方法对正确安置浑仪以使其北极枢的方向正指北天极是有相当重要意义的,应给予积极的评价。沈括观测极星虽然得到了错误的结果,但他从事这一工作时认真细致的求索精神还是应予充分肯定的。他的这一工作虽然在以后的文献资料中经过多次引述,但其错误结果并未造成明显的恶果,其后20年左右,苏颂在其所著《新仪象法要》中就写道:“旧说皆以纽星即天极,在正北,为天心不动。今验天极亦昼夜运转,其不移处乃在天极之内一度有半。”并未采用沈括的结果,而用较为准确的“今验”值来代替它。受沈括的错误结果影响的看来似乎只有南宋时的观测。

据《宋史·天文志》记述:“中兴更造浑仪,……后十余年邵谔铸仪,则果用临安北极高下为之。以清台仪校之,实去极星四度有奇也。”“贾逵、张衡、蔡邕、王蕃、陆绩皆以北极纽星之枢是不动处(也,祖暅以仪准候不动处)在纽星末犹一度有余。(熙宁中沈括测去极三度有余。)今清台则去极四度半。”(后一段中两处括号中内容为据中华书局校勘本中的“校勘记”所补)均指出南宋时对极星观测得到极星与北



① 李志超:《中国科学技术大学学报》,1980年。



天极之间的角距离为四度多。潘鼐在其所著《中国恒星观测史》一书中认为，这“其实是将南北两方北极出地高度的差别，同极星离北极的远近这两个不同的概念混为一谈了。宋开封府与临安府（今浙江杭州）的地理纬度分别为＋34°48′和＋30°14′，相差4°34′，恰好是四度半。”确实两个数字相当符合，似应如此解释。但记述中明确指出的是“以清台仪校之，实去极星四度有奇也。”用某一观测地点的浑仪是不可能观测到不同纬度地点北天极高度的差值的，而且浑仪也只有在北极枢的方向与北天极基本符合后才能从事观测，也即必须事先按当地北天极地平高度相对准确地安置好浑仪而不可能用浑仪来测量这事先应该掌握的值。在《宋史·天文志一》中介绍南宋时的浑仪时就明确指出：“南北极出入地皆三十一度少”，表明浑仪在制作的过程中就已在结构上考虑北天极的地平高度了，这也就很能够说明问题了。由于南宋时纽星与北天极的角距离已经增加到两度左右了，如果用清台的浑仪来观测它时所对应的年代较晚（从《宋史·天文志一》的记述，它肯定在绍兴三十二年即公元1162年以后，而那时纽星与北天极之间的角距已超过两度了），再重复沈括所犯的错误，则得到“四度半”、“四度有奇”的结果是完全可能的。

## 第七节　元　代

### 一、郭守敬在恒星观测中的贡献

元代的恒星观测工作在元初因著名天文学家、天文仪器制造家郭守敬的出色工作而向前大大推进了一步。元王朝建立以后，其天文仪器开始时还是使用金代遗留下来的，但由于“规环不协，难复施用。”[①]已不能满足当时天文观测的需要。元初的历法也沿袭使用金代的大明历，在推算天象时出现了相当多的偏差：“庚辰岁，太祖西征，五月望，月蚀不效；二月、五月朔，微月见于西南。”（《元史·历志一》）虽然当时有耶律楚材的《西征庚午元历》、西域札马鲁丁的万年历，但都仍不是十分理想。至元十三年（1276）元灭南宋后就将编制新的历法工作提上了议事日程。在这种情况下郭守敬就充分发挥出他在天文学方面的才能。在参与编历的过程中他主要负责仪器的制作和天文测量的工作，这两个方面都有相当一部分内容是与恒星观测有关的。我们可以从中看到郭守敬对恒星观测工作所作出的杰出贡献。




据在《元史·郭守敬列传》中的记述统计，郭守敬制作的天文仪器有15种之

---

① 《元史·天文志一》。

多，其中景符只是用于配合四丈高表进行日影长度测量的，候极仪、立运仪都只是简仪（一种大型天文观测仪器）中的一部分，均不能视为独立的天文仪器。加上在《元史·天文志一》中介绍的大明殿灯漏，通常认为郭守敬制作过13种天文仪器。其中与恒星观测有关的是简仪、窥几、候极仪、立运仪、星晷等。另外还有一种玲珑仪，有人认为它是一种相当于天象仪的天文演示仪器。它可能与前面讲到的苏颂、韩公廉所制作的与传统不同的水运浑象类似，是一只表面按恒星位置凿孔的大圆球，人钻在球中就能观察到模拟的星空。但潘鼐不同意这一看法，他认为那是一台浑仪[①]。在此之前，李约瑟在《中国科学技术史》一书中也持此说。如此说成立，则它也与恒星观测有密切的关系。而按前一种说法则与恒星观测的成果有关，即是将观测到的恒星位置情况形象地表现出来。然而在郭守敬所制造的仪器中也包括有一台浑象（文献中称为浑天象），那就是具有两种类型不同的演示恒星观测结果的仪器了。由于文献资料中对玲珑仪并无详细的介绍，情况究竟如何，尚难以得出最后的结论，暂且存疑待究。

简仪是郭守敬所制造的天文仪器中的杰作之一。与同作为大型天文观测仪器的浑仪相比，在其结构上有了相当多的改进。其中与恒星观测有关的有下述几条。首先它将用来观测天体的赤道坐标（即天体的入宿度和去极度）的部分进行了简化，只留下了与天赤道面平行的赤道环、百刻环和与其垂直的四游环，并使后者的旋转轴在前者的圆心处，这样最大限度地减小了规环掩蔽视线的弊端。并将这一部分置于仪器的最高处，使视野更为开阔，这显然对恒星观测是有利的。其次，简仪中增加了观测天体的地平坐标的部分，即所谓立运仪，用它也就能方便地测量恒星的地平坐标。浑仪中虽然也有相应于地平天文坐标系的规环，但却不能通过观测得到天空中任意方向上天体的地平坐标。第三，简仪中以窥衡代替了浑仪中的窥管，其结构是一块两头有称为横耳的凸起的长铜板，在横耳上分别有一圆孔，圆孔中心各穿一铜线，在观测时使两圆孔中的铜线与被观测天体在一直线上，利用三点一线的原理使窥衡能准确地对准观测目标，从而提高观测精度。元代恒星观测的精度有所提高也是与此有关的。第四，简仪中增设了定极环，其原理和上节中沈括在浑仪中以北极枢观测北极星的方法相同，但它可以经常用来观测北极星，而不是像沈括那样只在安置浑仪时观测，从而也就能随时检测仪器安置的情况，以使其始终保持在正确的工作状态上，这显然对减小恒星观测的系统误差是有利的。最后，以前的浑仪上的角度单位常只刻划到一度，观测时可以估读到1/4度，并以少、半、太的方式来表示。郭守敬的简仪上每1度都划分为10小格，以当时1度划分



---

① 潘鼐：《现存明仿制浑仪源流考》，《自然科学史研究》，1983年，第3期。



为100分的规定，每小格就相当于10分，通过估读还可以得到更为精确的数据，这显然对提高恒星观测的精度水平是十分有利的。同时代和以后的浑仪也采用了同样的划分方式进行刻划，可见其在天文测量工作中发挥了带头的作用。郭守敬制造的简仪一直保留到清初被西方来华传教士销毁，令人十分惋惜。幸而一台明代正统年间仿制的简仪依然完好保存了下来，现存放在南京中国科学院紫金山天文台，我们通过它仍可以一睹郭守敬所制作的简仪的丰采（图4—2）。我们可以看到它不但是实用价值很高的大型天文观测仪器，还是不可多得的中国古代的艺术珍品。

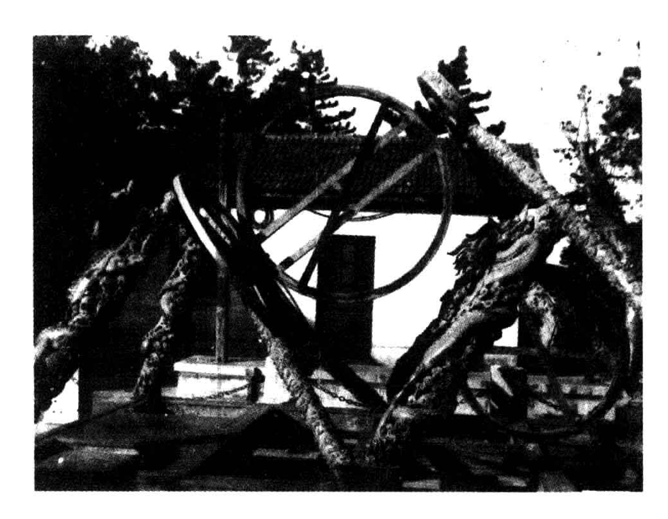


图4—2 明代仿制简仪

与恒星测量有关的另几件仪器的重要性看来就没有简仪那么突出。候极仪、立运仪实际上就是简仪中的一部分，候极仪就是上面提及的候极环，立运仪就是简仪中观测天体地平坐标的部分，这在上面也已经提到过了。星晷是观测恒星在天空中的位置以确定当时时刻的仪器。通常人们在掌握了某些恒星在天空中的位置和它们在一年中不同日期时周日视运动的变化情况后就可以用星晷来观测它们以测定时刻。它显然对观测恒星的位置数据的结果存在一定的依赖关系。从现有的资料看来，郭守敬制作的星晷是在史籍中记述最早的一台。据《元史·天文志一》记述，在元世祖至元四年，札马鲁丁曾经制作过一批西域仪象，其中有一种叫作昼夜时刻之器："其制以铜如圆镜而可挂，面刻十二辰位、昼夜时刻，上加铜条缀其中，可以圆转。铜条两端，各屈其首为二窍以对望，昼则视日影，夜则窥星辰，以定时刻，以测休咎。"郭守敬的星晷的结构、原理可能与此完全不同，但有可能就是受到其影响或启发而制作出来的。郭守敬制作的窥几可以用来观测正在南北子午圈上的恒星的地平高度。其结构相当于一张桌面上开有狭缝的长桌子，狭缝旁刻有尺




寸分划，在与4丈高表配合进行观测时观测者位于桌下，观测高表顶端的横梁和恒星或月亮的方向在桌面狭缝处对应的尺寸，并由前者推求后者投影在圭面上的相应长度，从而可算出其地平高度。由于观测的是恒星在南北子午圈上时的地平高度，在人们对北天极的地平高度充分掌握的情况下，这就可能提供了一条获得恒星去极度数据的途径。但在《元史·天文志一》中未述及当时观测恒星、月亮过子午圈时的地平高度的目的，由其可得去极度数据的说法不过只是设想而已。

郭守敬利用简仪进行过系统的恒星位置数据的测量工作。据郭守敬的学生齐履谦所写的《知太史院事郭公行状》中记述，郭守敬在编制授时历的基础上曾写下了《历议拟稿》等14种天文历法著作共一百零四卷，其中有《新测二十八宿杂坐诸星入宿去极》一卷、《新测无名诸星》一卷。从书名上判断，它们肯定是收集了郭守敬所测得的恒星位置数据。但由于这些专著都被元代官方秘藏而未在民间流传，后因元王朝的覆灭而不知所终。明末崇祯三年(1630)时著名科学家徐光启就谈到："郭守敬之遗书一百余卷，悉皆散佚……"清初数学家梅文鼎在《郭太史历草补注》中也感到惋惜："郭书存亡，不可得而问。"但梅文鼎却偶然地从书店中收集到载有全天恒星的入宿度、去极度数据的残缺刻本，并根据其数据是将1度划分为100分的特点，认为它与郭守敬编制授时历时采用的规则是符合的。梅还著有《古历列星距度考》一卷叙述了有关的内容，可惜该著作未能刊行，使有关资料又一次湮没了。潘鼐于1982年在北京图书馆所藏明代钞本《天文汇抄》11种三十二卷查得《三垣列舍入宿去极集》一卷，通过研究认为它就是郭守敬的两部专著中的内容，并称其为《郭守敬星表》，其具体情况在其《郭守敬〈新测二十八宿杂坐诸星入宿去极〉考证》[①]一文和《中国恒星观测史》一书中均有介绍，我们在谈到星表时准备对其再做介绍和研究。





据《元史·世祖本纪》记述："至元二十五年夏五月壬寅浑天仪成。""至元二十六年春三月乙未铸浑天仪成。"表明元代也是制造过浑天仪的。由于中国古代有时用浑天仪来称呼作为天文观测仪器的浑仪，又有时用来指作为模拟星空运动的浑象，这里记述又十分简略，这两台浑天仪具体何指就很难说清了，这有待于更详细的文献资料的出现才能了解。但是郭守敬确实制作过一台模拟星空运动的浑象：

> 大德二年，起灵台水浑运浑天漏，大小机轮凡二十有五，皆以刻木为衡牙，转相拨击，上为浑象，点画周天星度，日月二环，斜络其上，象则随天左旋，日月二环各依行度退而右转。[②]

从这段叙述可以看到，这台制作于大德二年(1298)的水运浑象与唐代一行、梁令瓒

---

① 《上海天文台年刊》，1988年。

② 《知太史院事郭公行状》。

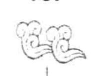



的相比是十分相似的，但浑象上的恒星标志应与元代郭守敬所观测到的恒星位置数据相对应。它相当于元代的球面星图。

## 二、赵友钦的创新

元代民间天文学家赵友钦也对恒星观测工作有杰出的贡献。在他所著的《革象新书》中对恒星位置数据的观测方法进行了探讨。《革象新书》原为五卷本，其卷四中有“经星定躔”和“横度去极”两节分别叙述了他创立的测定恒星赤经差和去极度的方法。明代王祎将该著作删定为两卷本，在第二卷中的“测经度法”和“测纬度法”两节中就说的是相应的方法。它们分别与传统的用浑仪直接观测的方法不同，是独特的具有相当的科学道理的方法，以现代的眼光看来仍然是十分合理的。

赵友钦测定恒星赤经差的方法最主要的特点是将恒星在东西方向上的位置数据(即相当于现代天文学中的恒星赤经值)与其通过南北子午圈的时间建立起联系。我们知道，恒星的赤经是以春分点为起点沿天赤道从西向东量度的，这样赤经小的恒星总是在赤经较大者的西边，以子午圈作为观测的基准，就能够看到随着恒星的周日视运动，恒星依赤经从小到大的次序先后通过子午圈，只要记录下两颗恒星通过子午圈时所相应的时刻，由其差就能得到这两颗恒星的赤经差。中国古代观测二十八宿的宿度或某一颗恒星的入宿度实际上都可以归结为测量恒星的赤经差的问题，赵友钦较为圆满地解决了这个问题。为了测量恒星通过子午圈时所相应的时刻，他设计了一套特殊的漏壶。在一昼夜的时间内，随着漏壶中水位的升高和降低，漏壶中标有时刻标志的木箭就分别上浮和下降各 50 次，木箭上刻有 146.5 个分划，这样在一昼夜中木箭的沉浮就共经历了 14 650 个分划。由于太阳在一昼夜中的周日视运动为一周天，即古代的 $365\frac{1}{4}$度，它又在恒星中间平均每天从西向东移动 1 度，显然恒星在一昼夜中的周日视运动就平均要比太阳多 1 度，即移动了 $366\frac{1}{4}$度。这就相当于木箭的沉或浮每经历 40 个分划就是 1 度。只要观察两颗恒星先后通过子午圈的这段时间内木箭沉浮了多少个分划就可以知道它们的赤经差了。为了观测恒星通过子午圈，赵友钦又设计了一种观测设备。它的主要部分也就是在四根竖立的木头架上并列两块长木板，使两板之间的空隙正对着南北子午圈，观测者在木板下眼睛离木板 1 尺多的地方观察，当看到需观测的恒星在空隙中心线处出现时就大声呼叫，通知负责记录的人观察漏壶中木箭所显示的分划并记录下来，通过简单的换算也就能知道二十八宿的宿度值或某一恒星的入宿度了。对前者而言，观测的两颗恒星应是二十八宿中相邻两宿的距星；对后者而言，观测的前一颗恒星则是后一颗恒星所在宿的距星。由于同一个夜晚天空中只有一半左

右的恒星能通过观测地点的子午圈，其他恒星则在白昼时通过而无法观测到，故必须在半年以后再观测它们，从而全部掌握天空中所有恒星在东西方向上的位置情况。由于观测时观测者的眼睛与木板的隙缝有一定的距离，可以减小观测者的眼睛在东西方向上移动所引起的误差。由于1度相当于木箭上的40个分划，如果不考虑其他误差来源，其观测精度似可达到$\frac{1}{40}$度，其精度的提高是十分明显的。为了避免观测中出现的错误，这种观测由两组观测者使用两套设备同时进行，以便对观测结果进行比较，每组观测还要连续观测三四个夜晚以对结果做最后的核定。可见赵友钦对恒星观测的计划还是考虑得相当周密的。

虽然赵友钦测量恒星赤经差的方法看上去比较简单，但其原理是相当科学的。其漏壶所计测的时刻与恒星的周日视运动密切相关，这与近代天文学中恒星时的有关概念已经十分接近。其观测方法也是相当先进的，近代天文测量工作在电动记录设备出现以前就曾经采用过候星过丝法与呼记法结合的观测方法，也就是将观测用的望远镜指向天空中预先算好恒星周日视运动将要经过的方向，等待恒星进入视场并到达视场中心的丝状标记时观测者就大声呼叫，通知记录者观察计时器上所对应的时刻并记录下来，通过精细周密的处理就可以得到相对精确的观测结果。赵友钦的这一方法虽然在仪器安置误差和某些偶然误差的消除方面未做细致的考虑，但观测的过程还是有些相似的。近代基本天体测量工作中对恒星的赤经有一种相对测量的方法，它也就是在通过绝对测量（具体方法这里就不必细说了）得到某些恒星的赤经值后使用一种称为子午环的精密测量仪器记录下它们与其他恒星通过子午圈的时刻，通过这些时刻之差进行仔细归算而得到后者的赤经值的。显然，赵友钦的方法与此在原理上是基本相同的，只不过是近现代的方法仪器设备十分先进，对影响观测结果的各种因素考虑得非常严密并设法予以消除或减弱，从而观测精度水平也是赵友钦的方法所无法与之相比的。





相比之下，赵友钦测量恒星去极度的方法就相对逊色多了，但其中也存在一定的合理成分。其观测设备是在四根竖立的木柱上对角架设十字形的木梁，其中心处竖立一高为6尺的木表杆，其顶端有一孔以穿线。孔下2尺左右面南处凿一长方凹槽，内插一水平安放的木板条，其南端与正南方竖立的一根木柱相对固定。木板条就基本上与子午圈相对应了，其左侧以1寸为1度做了91度多的分划标志，其表面上相应的地方也凿有91个浅窝，在木板条的上面1寸多的地方还有另一同样的木板条，在相应的位置则穿有91个孔，可将长2尺多的铁条插入使其下端落在下木板条表面的浅窝中。铁条的上方有孔可以穿线。在木表杆的北侧有一窥管，其两端有环，下端的环与木表杆基部相连，上端的环则结以琴弦，琴弦通过木表杆上端的孔后与铁条上端的孔相结。当铁条插在最南端的孔中时琴弦拉着窥管使





其竖直向上，移动铁条所在的孔就可使窥管所指向的角度发生变化，铁条移到最北端的孔时窥管就呈水平状态了。在木表杆下挖一方坑，观测者就可在其中观测，先由另一人移动铁条使窥管观测天空中与北天极相应的不动的那一点并在平放的木板条的右侧做一相应的标记以作标准。由于铁条的均匀移动并不能使窥管转动的角度也是均匀的，在该木板条的右侧所列的角度标志是不均匀分布的，它们分别与窥管指向角度的整数值相对应。改变铁条的位置使窥管的角度变化就能观测到需要观测的恒星从而读取其对应的角度值，与以北天极对应的标记比较就能得到其去极度。要观测南方的恒星则需要将观测设备转过半周，使平放的木板条在木表杆正南即可，这时窥管指向正上方时所对应的去极度是已知的，也就不难得到窥管指向其他方向时所对应的去极度了。应该说这种观测恒星去极度的方法并不是十分高明，它显然没有直接用浑仪进行观测简便，然而对于民间的恒星观测而言，这依然是可以避免使用结构复杂、制作困难、造价昂贵的浑仪的一种简易方法。由于在《革象新书》中没有谈到与窥管指向的角度相对应的不均匀标志是怎样获得的，也未谈到铁条插在不同的孔中怎样与被观测恒星的地平高度完全对应，对度以下的读数有无估计的方法等问题，仅仅根据这种观测每天晚上要同时用两台设备平行观测以互相参校，并需连续观测三四夜以最后审定的情况，我们还很难确定其观测的精度水平究竟如何。由于在测量过程中并未在平放的木板条上标明天赤道与子午圈交点的方向所对应的记号，所测量的并非恒星的赤纬数据，明代王祎在删定《革象新书》时将其标以“测纬度法”显然是不妥的。从原理上看，赵友钦观测恒星去极度的方法实际上就是观测恒星过子午圈时的地平高度（或天顶距），再根据北天极在子午圈上的位置而求得的。近现代天文学中测量恒星的赤纬则是用子午环观测其通过子午圈时的天顶距，然后再经过某些细致的归算处理才得到的。就这一意义上来说，赵友钦当时采取的方法与此在原理上是不谋而合的，也是具有一定的合理因素的。这表明元代时人们对天体的子午观测的规律性已经有了相当程度的掌握。联系到上面谈到的郭守敬制作的窥几可用来与高表互相配合以测量月亮、恒星通过子午圈时的地平高度的情况，可以认为他们是一脉相承的。赵友钦测量恒星的两种坐标数据均采用了子午观测的方法，表明他对这种方法的了解已相当全面，应视为元代恒星观测方面的重要的进步。





赵友钦的恒星观测曾经留下过一些结果，他曾绘制过星图，并刻在石面上。这一石刻星图到清代时仍还存在。清代著名数学家、天文学家梅文鼎在为《中西经星同异考》所写的序中谈到：“余尝见元赵缘督友钦石刻图，阁道六星在河中作磬折层阶之象。”但该星图后来就不知下落了，甚为可惜。

## 第八节　明　代

中国社会在明代进入了封建社会的后期，封建统治阶级的腐朽没落阻碍了科学事业的发展，天文学的发展也就处于停顿不前的状态。恒星观测工作也同样受到了影响。明初在恒星观测方面能值得一提的是在航海天文学方面。在上一章中谈到中国古代的角度单位时曾经提起过明代大航海家郑和七下西洋曾经流传下来《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番国》和《顺风相送》两种文献，它们都有关于观测恒星的地平高度来确定海船位置的记述，确是详细反映中国古代航海天文学中观测恒星的最早资料，应该说是十分珍贵的。但这些资料中所记述的更可能是前人在航海天文学方面的有关知识和经验的系统整理、归纳，而不是在这七次航行中通过观测首次得到的结果。将其追溯到宋、元甚至更早的时代可能更为适当。

### 一、传统天文仪器的制造

可以用于观测恒星的天文仪器在明代也多次进行过制造。据《明史·天文志一》记述，明初洪武十七年(1384)时曾制造过观星盘。但因记述简略对其具体情况也就难以了解，估计它是类似于星晷的仪器，可以通过观测恒星的位置来测定时刻的。其后也谈到在洪武二十四年(1391)又铸造了浑天仪。由于浑天仪的名称并不规范，古人有时将浑象也称为浑天仪，只从叙述本身尚难肯定它就是用于观测恒星位置的浑仪。但根据其后文中述及正统二年(1437)钦天监正皇甫仲和要求制作天文仪器的奏章中有“南京观象台设浑天仪、简仪、圭表以窥测七政行度”之语可知它可能就是浑仪。由于在文献资料中尚未发现有明代在正统二年前制造过简仪的记载，南京观察台所设的简仪看来只是元代旧物。通常认为在明王朝建立以后，洪武“十八年，设观察台于鸡鸣山”(《明史，天文志一》)时曾将元代遗留下来的甚至包括宋代的一些天文仪器一起迁到了南京，并在天文观测工作中发挥作用。明王朝迁都北京以后对天文观测仪器进行了重新制作。据《明史·天文志一》记述，正统二年(1437)钦天监正皇甫仲和根据北京官方天文机构没有天文仪器的情况，提出派人到南京用木料仿制运回北京进行校验后再用铜铸造的建议，得到了采纳，并于第二年冬天用铜铸造浑仪和简仪。关于它们制造的年代史籍中有不同的记载。在《明实录·英宗》中记述为：“正统四年十月造浑天仪、璇玑玉衡、简仪。”清代《古今图书集成·历象汇编·历法典》中又根据明代谢肇淛所撰《五杂俎》中记述：





京师城东偏有观象台，高五丈许，其上有浑天仪一具，如世所图璇玑



者，皆铸铜为器，四柱以铜龙架而悬之，制作精巧。又有简仪一具，状相似而省十之七，周遭数道而已，玉衡一，亦铜为之，如尺而首尾皆曲，有二孔，对孔直窥，以候中星。又有铜球一，左右转旋以象天体，以方函盛之，函四周作二十八宿真形。南面有御制铭，正统七年作也。

似乎表明是正统七年制作的。看来，很可能正统三年、四年和七年分别与其开始铸造、铸造成功和安装调整完毕能够正常工作故皇帝为之撰写铭文的时间相对应。这两台仿元代结构的浑仪和简仪历经人间的沧桑和劫难，侥幸地留存至今，现存放在江苏省南京市中国科学院紫金山天文台。上节中图 4－2 为其简仪的照片，浑仪的照片可参见图 4－3。它们都与元代的浑仪和简仪一样度盘上每度都分为 10 小分，其观测精度也是相当的。它们在明代恒星观测工作中无疑具有相当重要的作用。据《明史・天文志一》记述，在皇帝所写的铭文中有“外有浑象，反而观诸，上规下矩，度数方隅”的记述，可知同时制作的也有用来象征星空的浑象，其上按恒星的位置做上标记，也具有球面星图的功能，因叙述没有谈到它能像以前的水运浑象那样用漏壶中流出的水带动以模拟星空的周日视运动，其作为星图的功能就显得更为明确。《明实录》中谈到正统四年制造的有一种仪器称为璇玑玉衡，这很可能就是指的浑象。《明史・天文志一》中还谈到：“成化中，尚书周洪谟复请造璇玑玉衡。宪宗令自制以进。”或许也是指相似类型的天文仪器。《明史・天文志一》中还谈到另一台简仪的制作：“景泰六年又造内观象台简仪及铜壶。”这台制作于公元 1455 年的简仪的具体情况就不十分清楚了。估计其形制仍是因袭元代郭守敬的设计，不会有太多的改进。据《明史・天文志一》记述，简仪和浑仪在嘉靖年间曾进行过修理。这些传统仪器都在恒星观测中发挥过作用。



## 二、明末的恒星观测

明代的后期，随着西方耶稣会传教士的东来，西方相对较为先进的天文学知识也传入了中国。用于观测恒星的天文仪器也被介绍了进来。同样也是在《明史・天文志一》中有这样的记述：“万历中，西洋人利玛窦制浑仪、天球、地球等器。仁和李之藻撰《浑天仪说》，发明制造施用之法，文多不载。其制不外于六合、三辰、四游之法。但古法北极出地铸为定度，此则子午提规，可以随地度高下，于用为便耳。”李之藻是明末著名的天文学家，其主要贡献就是对西方先进的天文学知识做了相当多的翻译、介绍工作。他较为著名的作品是《浑盖通宪图说》。这是他从西方传教士利玛窦那里学习了一种用于观测恒星的星盘的有关知识后所写的一本著作。它分上、下两卷。上卷叙述了星盘面上各种坐标线条的绘制方法，谈到了天体的赤道坐标、黄道坐标和地平坐标在平面上的投影方法。下卷则介绍了在星盘上如何

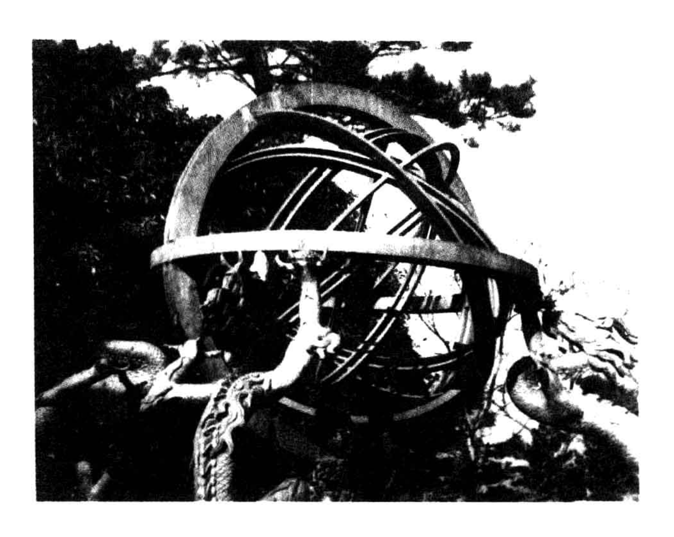


图 4—3　明代仿制浑仪

确定表示恒星位置的相应标志和星盘的使用方法。卷首还对浑象做了介绍。看来这种星盘完全是西方模式的天文仪器。上面所引《明史·天文志一》中的记述如果确实无误的话，其所叙述的应是一种小型的便携式浑仪，它可以随观测地点的不同而调整与子午圈相对应的规环，使其上的北天极枢位置可以与观测地点的地理纬度相适应，从而可以正常地进行观测。它可能与公元 1598 年由丹麦天文学家第谷制作的小型赤道浑仪的情况是类似的。

与李之藻同时代的著名科学家徐光启也曾制作过可用于观测恒星的天文仪器。那是在他受命编制历法期间的事情。也是在《明史·天文志一》中谈到："崇祯二年，礼部侍郎徐光启兼理历法，请造象限大仪六，纪限大仪三，平悬浑仪三，交食仪一，列宿经纬天球一，万国经纬地球一，平面日晷三，转盘星晷三，候时钟三，望远镜三。报允。"其中象限仪是用来观测天体的地平高度的，纪限仪可观测两天体之间的角距离，它们与浑仪、星晷都是可用或专用于观测恒星的天文仪器，可见，当时进行恒星观测的技术条件是相当优越的。实际上，崇祯元年(1628)徐光启就对恒星的位置进行过观测。在《明史·天文志一》中"恒星"一节中就指出：

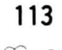


> 崇祯初，礼部尚书徐光启督修历法，上《见界总星图》。以为回回立成所载，有黄道经纬度者止二百七十八星，其绘图者止十七座九十四星，并无赤道经纬。今皆崇祯元年所测，黄赤二道经纬度毕具。后又上《赤道两总星图》。……乃依各星之经纬点之，远近位置形势皆合天象。

有迹象表明在这次恒星观测中还使用了望远镜。《明史·天文志一》中记述说："又谓云汉为无数小星，大陵鬼宿中积尸亦然。……又言昴宿有三十六星，皆得之于窥



远镜者。”可见用望远镜观测对银河和星团的本质的认识有极其重要的意义。徐光启在《崇祯历书·恒星历指》中也称赞望远镜：“若用以窥众星，较多于平时不啻数十倍，而且光耀灿然、界限井然也。”徐光启在恒星观测的成果中还包括有新星和南天极附近恒星的位置：“又有古无今有者。策星旁有客星，万历元年新出，先大今小。南极诸星，古所未有，近年浮海之人至赤道以南往往见之，因测其经纬度。”[①]这次恒星观测还按照西方天文学中的办法将恒星按亮度分为六等，《明史·天文志一》中明确记述：“凡测而入表之星共一千三百四十七，微细无名者不与。其大小分为六等：内一等十六星，二等六十七星，三等二百零七星，四等五百零三星，五等三百三十八星，六等二百一十六星。悉具黄赤二道经纬度。列表二卷，入光启所修《崇祯历书》中。”其后则按照黄道十二宫的次序列出了二十八宿距星和一、二等星及个别较暗星的黄道经、纬度与赤道经、纬度数据，这相当于现代天文学中的黄经、黄纬、赤经、赤纬，只是黄道经度是以黄道十二宫各宫的起始点作为度量起点而稍有不同。徐光启编撰《崇祯历书》期间，从崇祯四年（1631）开始曾三次上呈了历书的有关著作共二十三种七十四卷，另有星图一卷。这些著作中有《恒星历指》三卷、《恒星历表》四卷、《恒星图像》一卷、《恒星总图》一卷是直接与恒星观测有关的。为了解当时恒星观测的具体情况提供了丰富的资料。《恒星历指》中对与恒星坐标测量有关的原理和方法进行了较为详细的叙述，也述及了星图绘制的方法、两种坐标系的转换等问题，并附有星图二十五幅。《恒星历表》则收录了上述恒星观测的有关位置数据。按照《明史·天文志一》中的记述，其数据涉及 1 347 颗恒星，然而据潘鼐统计，《崇祯历书》中的恒星表中的星数却小有差异，后者为 1 362 颗恒星。如按黄道十二宫分别所列各星等的星数统计则为 1 358 颗。清代顺治二年（1645）西方传教士汤若望将《崇祯历书》改编成《西洋新法历书》时则又为 1 366 颗星，而以其为基础在《古今图书集成·乾象典》中的恒星表又少了 5 颗，为 1 361 颗。总的看来这些差异还不是很大的。这些恒星位置数据均已采用西方天文学也即现代的将一个圆周划分为 360 度，并将 1 度划分为 60 分的分度方法，这是中国古代官方编制的历法最早采取这一方法，它与中国古代传统的将一圆周划分为 $365\frac{1}{4}$ 度的做法相比具有归算较为方便的优点，它的运用对人们学习西方天文学和数学的先进知识是有利的。恒星的位置数据不仅有相应的赤道坐标，其赤经值还是从春分点起算的，这就与西方天文学也即与现代天文学中的规定基本上一致了。恒星的黄道经度、黄道纬度数据也是在官方编制的历法中第一次出现，它们都已不是以北天极作为衡量的参考点，而是与现代天文学中的黄经、黄纬比较接近了，只是其黄


① 《明史·天文志一》。

道经度不是以春分点作为量度起点而是从黄道十二宫各宫的开始处起算而已，从本质上来说并无太多的不同。值得一提的是，在《恒星历表》中还对某一星官中的成员星首先采取了在星官名后加编号的方法来称呼，从而有了壁宿一、天船三、卷舌五等恒星名称。这是对公元1603年德国牧师巴耶尔(J. Bayer)首倡以星座名称后顺序用希腊字母来命名星座中亮度从强到弱排列的成员星这一做法的发展。直到公元1725年西方才开始有人也用数字编号来称呼星座中的成员星，这比《恒星历表》已经晚了近100年。《恒星历表》中的这些星名一直沿用到近代，成为具有中国民族特色的经典恒星名称，为区分各恒星提供了方便。与《恒星历指》、《恒星历表》同时进呈的《恒星总图》、《恒星图像》均未发现有明代的刻本，对其具体情况也就难以了解了。徐光启辞世以后，其继任者李天经也曾两次进呈了《崇祯历书》的有关著作23种共61卷，另外还有星屏一座，合计62卷。通常认为这座星屏就是根据徐光启的八大幅《恒星总图》绘制的。中国第一历史档案馆中保存有一份蓝色的清代印制的八幅屏条样式星图，它可能就是所谓星屏的复制品。类似的复制品在法国国家图书馆、梵蒂冈图书馆均有保存，其中后者保存的两份中还有一份是明代的彩印图，可能就是徐光启原图的初印本之一，是十分珍贵的孤品。李天经进呈的著作中还有《恒星出没》二卷是与恒星观测有密切关系的，它是在徐光启生前就拟就草稿的。以上这些都表明徐光启在明末的恒星观测工作中所作的贡献是十分突出的。

由于徐光启观测恒星在东西方向上的位置情况时是以春分点或黄道十二宫在黄道上的起始点作为起算点的，它就与传统的观测恒星的赤经差或准黄经差有所不同。而春分点和黄道十二宫的起始点在天空中并无一显著的标志点，人们要得到相应的位置数据就不能采取直接观测的方式。在《崇祯历书·恒星历指》中的“测恒星法第一”一节中，徐光启分析研究了三种观测方法的情况。第一种方法是以观测月亮作为过渡，早晨太阳未出时先观测月亮与恒星之间的相对位置，日出后则观测太阳与月亮之间的相对位置，从而得到恒星与太阳之间相对位置的情况。根据太阳与黄道、赤道的相对位置就可推求出恒星的位置。傍晚时则先观测太阳和月亮，日没后再观测月亮和恒星，同样可以得到类似的结果。第二种方法是用漏壶或自鸣钟之类的计时工具观测恒星通过观测地点子午圈的时刻，并测量其地平高度，通过运算就可由太阳的位置推求出恒星的赤道经度了。第三种方法与第一种类似，只是将过渡观测的对象由月亮改用为金星而已。徐光启指出，第一种方法是早就采用的，它有三个缺点：首先是月亮的视圆面较大，要在窥管视场中确定其中心的位置是很不方便的，即使观测时以其边缘作为目标也不是很方便的；其次，月亮本身有一定的运动速度，在分别观测其与太阳、恒星的相对位置情况中间有一







段时间，月亮的位置也就有一比较明显的变化，这会给观测带来误差；最后，月亮有较明显的视差位移，观测时地平高度不同就引进了一定的误差。用现代的眼光来看，徐光启对这一方法的分析是相当有道理的，基本上说清了这一方法的缺陷。徐光启又认为在第二种方法中计时仪器随环境影响而出现误差时也会影响观测结果的准确，而且其方法也比较繁复，故虽然在观测熟练、仪器精密的情况下也可能会取得良好的观测结果，但终究还不是一种好方法。这一评价也是颇有见地的。这种方法实际上就是上节中谈到元代赵友钦测量恒星赤经差的方法，它在原理上确是十分科学合理的，具有相当高的科学意义。但在实际实施的过程中必然会出现不少的问题。赵友钦用于计时的漏壶实际上只有一个泄水壶，其泄水速度是不均匀的，在水满时泄水快，水浅时泄水慢，其计时精度显然是比较低的，依据其来测量恒星的赤经差精度当然也不会高。即使利用由多个泄水壶连用或水位保持恒定的漏壶来计测时刻，也会由于水的黏滞性随环境温度的变化使其泄水速度发生变化而影响计时的准确性，从而给观测恒星的赤经差带来一定的误差。赵友钦所使用的观测设备也相对地比较简陋，要正确地将其安置对准南北方向上需要经过一个相当麻烦的反复调整过程，在观测方法上考虑也不够完善，观测者不熟练就会产生较大的误差。总的看来其观测误差可能还是相当大的，徐光启对其所做的评价是基本上符合实际情况的。徐光启比较推崇第三种方法。他认为金星的视圆面较小，无需确定其中心，在窥管中就可以观测到它；其在恒星之间的位移极为缓慢，以其作为过渡观测的目标时在两次观测期间其位置变化不明显；其视差位移也比月亮小了很多；故用金星作为观测的过渡天体比用月亮要优越得多。在观测中是使用纪限大仪由两位观测者同时瞄准金星和太阳或恒星，从而得到两者之间的角距离数据，与此同时还用浑仪观测它们的地平高度和赤道纬度。根据太阳、金星的地平高度可对其位置做视差改正。根据记录下来的对金星两次观测的时刻也可对金星在此段时间内的运行量做出改正。利用球面三角的计算就能甚为精确地得到恒星与金星、金星与太阳的赤道经度之差，由算得的太阳赤道经度值也就可知道恒星的赤道经度了。由以上情况可以看到徐光启观测恒星赤道经度的方法考虑得已相当周密，基本上当时所能掌握的西方天文学中有关的知识都得到了应用，在中国古代恒星观测的历史上达到了最高的水平。徐光启对恒星赤道经度观测方法的分析研究也表明人们在这一工作中已不再只局限于实用和经验而开始了理性的逻辑思维，从而将其置于更为科学合理的基础之上。可以说这是中西天文学结合的典范，充分体现了徐光启在天文历法工作中学习引进西方先进天文学知识，“熔彼方之材




质，人大统之型模”[①]的指导思想。

毋庸讳言，明末徐光启在编制《崇祯历书》的过程中西方传教士汤若望、龙华民、罗雅谷等人都曾经发挥过重要作用，在恒星观测工作中也不应抹煞他们的贡献。正是这些西方传教士在传教的同时也积极地将西方相对先进的天文学知识介绍到中国来，为中国的天文界打开了一扇了解世界天文学发展的窗户，给当时已处于沉闷压抑状况下的中国传统天文学带来了新鲜的空气，注入了青春的活力，从而开创了天文学蓬勃发展的新局面，使其成为中国近现代天文学的先导，对其他科学技术领域中西方先进知识的传入也起了带头作用。当然，这种情况的出现根本上还是由当时中国社会发展固有的特点所决定的，但他们在这方面所起的作用还是应予肯定的。《崇祯历书》在明代未能颁行，到清代由汤若望删改为《西洋新法历书》而问世，虽然汤若望不光彩地将其说成是自己的著作，但他对其中某些恒星位置数据确也做了必要的修改，且对该巨著的流传也还是有一定的积极作用的。

## 第九节　清　代

### 一、三次大规模恒星观测

清代官方天文机构钦天监曾组织过 3 次恒星位置的大规模观测。

第一次恒星观测是在康熙年间进行的。在这次观测中比利时来华的传教士南怀仁(F. Verbiest)起了相当重要的作用。他是在顺治十六年(1659)来华的，后即协助汤若望从事编修历法的工作。在康熙八年(1669)开始管理钦天监监务，并提出制作新的天文仪器的建议，提供了相应的设计图样。这些天文仪器于康熙十二年(1673)制造成功，共有 6 件，即黄道经纬仪、赤道经纬仪、地平经仪、地平纬仪、纪限仪和天体仪。其中除天体仪外均为天文观测仪器，它们与中国古代传统的浑仪有较大的不同，尽管有龙形的装饰表明其是在中国制造的，但实质上均是西方模式的天文仪器，它们可用来分别测量天体的黄经、黄纬、赤经、赤纬、地平高度、方位角和两天体之间的角距离。它们显然在恒星观测方面是大有用武之地的。所谓天体仪的情况与中国古代的浑象并无太多的不同，其主要部分也就是一个具有用来表示恒星位置情况的标志的大圆球，相当于一具球面星图。康熙十一年(1672)，南怀仁曾绘制过一份《赤道南北星图》，据信其所表示的恒星位置是与天体仪完全相应的，但这一星图未能流传下来，甚为可惜。南怀仁设计制作的 6 种天文仪器一直留





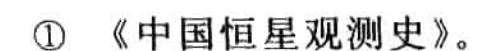
① 徐光启:《奉旨恭进历书疏》。




存至今，现仍完好地安放在北京古观象台上。据南怀仁记述，其所制天体仪上的星象位置是通过实际观测得到的。他在康熙十三年(1674)正月曾上奏要求出版其为这些仪器的制作所写的著作《灵台仪象志》十六卷。由于仪器的制成与书稿的完成时间相隔很近，潘鼐认为他可能是先制作木样进行恒星观测工作然后才正式用铜制作的[①]，但看来也可能是他率先制作了黄道经纬仪等5种天文观测仪器并用其对恒星位置进行了观测，最后才根据观测得到的结果再制作天体仪，而后者的完成则是康熙十二年，作为全部仪器完工的年份。从仪器制作从开始到完成延续了4年左右的情况看来，这一可能是相当大的。然而通常认为《灵台仪象志》中恒星位置数据源于《崇祯历书》，而非当时实测所得，仪器完工与书稿撰成的日期十分接近就毫不奇怪了。《灵台仪象志》中除了对六台仪器的用途、结构、制作、安装、使用方法等做了介绍外，还以相当的篇幅列出了1 876颗恒星的黄、赤道坐标数据，这就是我们在以后叙述古代星表时将要谈到的《灵台仪象志》星表。在南怀仁所制作的天文观测仪器上是将1度划分为60分，每分又各有四细分，实际上相当于将1度划分为240等份，即刻划到15″，如果用仪器上的游标测微装置还能读得更为精确的数据，其精密程度是空前的。在仪器的制作与安装方面也都有较为周密的考虑。这些仪器的制成对恒星观测来说显然是具有一定的重要意义的。

清代的第二次大规模恒星观测是在乾隆年间进行的。南怀仁去世以后，在康熙五十四年(1715)又有德国传教士纪理安(B. K. Stumpf)设计了一台地平经纬仪，它显然是为了克服使用南怀仁的仪器观测一个天体的地平坐标(即方位角和地平高度)时要使用两台仪器(地平经仪、地平纬仪)分别观测的缺点而制作出来的。为制作这台仪器，纪理安将元代郭守敬等人制作的简仪、仰仪等原物作为废铜销毁了，造成了极大的无可挽回的损失。这台仪器现也存放在北京古观象台上。它虽然可以方便地同时测量天体的两个地平坐标，但在观测恒星的赤道坐标或黄道坐标方面并没有太多的作用。乾隆九年(1744)任钦天监监正的德国传教士戴进贤(P. I. Kögler)等人提出由于《灵台仪象志》中有些恒星位置不准确、岁差现象对恒星坐标已有数十年的影响等原因，需要对《灵台仪象志》星表进行增订，得到朝廷的同意，并根据和硕庄亲王允禄等人的建议，以宫中的三辰公晷仪为模式制造大型天文仪器以观测天象。乾隆十七年(1752)对恒星位置的测量工作完成，其位置数据表及有关情况介绍被整理成书，并被皇帝命名为《仪象考成》，它共有32卷。因为在其刊刻时正值新天文仪器已于乾隆十九年初制成，并被皇帝赐名为玑衡抚辰仪，前两卷称为卷首，就是专门介绍这台仪器的有关情况的。后30卷除第一卷是对恒





① 《中国恒星观测史》。

星概况做一介绍外其他都是罗列了恒星位置的数据。其所收录的数据共涉及300个星官、3 083颗恒星。有关的具体情况拟留待以后讨论星表时再做介绍。玑衡抚辰仪与中国传统的浑仪基本类似，也是采用了里外三层的结构，只是省去了地平环和黄道环，另在窥管的上端孔中装置有十字丝，这对观测恒星这样的目标时更加便于瞄准和提高观测的精度。另外也增加了某些用来帮助观测的附件，如指时度表、指纬度表、立表、平行线测经度表等，但是这些附件大都均已散失。该仪现也存放在北京古观象台上。《仪象考成》中所收录的恒星数目比以前的星表都多，但有人据研究认为，它是以英国弗拉姆斯蒂德(J. Flamsteed)编制的星表作为观测的底本的，现代人们研究中西恒星名称的对应情况时常以其作为基础，它对研究中国古代恒星观测情况是具有一定的重要意义的。

道光年间，清代进行了第三次大规模的恒星观测。这仍然是因为岁差现象对恒星位置影响而提出来的。从上次恒星观测到道光十八年(1838)已有近百年的时间，在此期间恒星位置已有明显变化，历法推算太阳、月亮运行情况和日月食发生位置的预报也出现了偏离，人们又发现黄赤交角也从23°29′变到了23°27′，对恒星的赤道坐标和黄道坐标的变换上也相应要有所改变。当时负责管理钦天监的工部尚书敬征在道光二十二年(1842)上奏要求对恒星位置数据进行重新测量和修正，得到了批准。由于从道光六年开始西方传教士已不参加钦天监工作了，全部工作均是由我国天文工作者承担的。经过两年半的时间，对《仪象考成》中所载恒星的位置进行了复测，并观测了"按赤道经度测得星体略大书中未载者"163颗恒星，剔除了"书中原载，考测未见者"6颗星，实际上将《仪象考成》中300个星官的3 083颗恒星增加到3 240颗。另外还观测了"星体较小者，共多增六百余星。"[①]表明这次观测的恒星实际是3 800多颗，但这些"星体较小"的恒星其位置数据只是另册存记，未和其他恒星的数据一起收集进《仪象考成续编》中。《仪象考成续编》共有32卷，其中包括恒星的《黄道经纬度表》12卷、恒星的《赤道经纬度表》12卷、《经星汇考》1卷、《恒星总记》1卷、《星图步天歌》1卷、《月五星相距恒星经纬度表》1卷、《天汉黄道经纬度表》2卷、《天汉赤道经纬度表》2卷。关于其恒星位置数据的分析研究，拟在以后述及星表时再探讨，这里就不多说了。《仪象考成续编》中的观测数据据信是使用玑衡抚辰仪观测所获得的，其数据基本上都是我国天文工作者通过实测获得的，而不像《仪象考成》中那样可能是以西方星表为基础的，其所包含的恒星数目比后者还要多，对研究中国古代与西方在恒星命名上的对应关系同样是具有重要意义的。在该书中还附有三种星空全图和31幅三垣二十八宿恒星分区图，

① 上述引文均出自道光二十四年十一月十五日敬征等人的奏折。



并收新编《步天歌》一首，这对研究当时恒星观测的状况是有帮助的。

## 二、活跃的民间恒星观测活动

除了钦天监的恒星观测工作外，清代民间的恒星观测工作也比较活跃。其中以梅文鼎兄弟的贡献最为突出。梅文鼎是清代著名的数学家、天文学家，字定九，号勿庵，安徽宣城人，生于明代崇祯六年(1633)，卒于康熙六十年(1721)，少年时代就对天文知识有浓厚兴趣，为研究天文历算打下了基础。青年时代曾对明代《大统历》的某些内容进行了系统的学习和研究，后又从研究《崇祯历书》入手，对西方历算之学进行了深入的探讨，写下了大量天文学和数学方面的著作。据他自己在《勿庵历算书目》中统计，其天文学著作有 62 种，数学著作有 26 种，但这些著作并未能全部流传下来。在雍正元年(1723)编印的《勿庵历算全书》中共收了 29 种 76 卷。乾隆二十六年(1761)其孙梅瑴成重新编辑的《梅氏丛书辑要》中则收有 23 种 60 卷。与恒星观测有关的著作有《恒星纪要》1 卷、《西国三十杂星考》1 卷、《求赤道宿度法》1 卷、《黄赤距纬图辩》1 卷、《帝星句陈经纬考异》1 卷、《星晷真度》1 卷、《勿庵仰观仪式》1 卷、《古历列星距度考》1 卷等，但其中有许多未能留存下来，是十分可惜的。在其介绍西方天文学知识的工作中就曾将在《崇祯历书》、《历学会通》等天文著作中已经出现过的西方星表，如托勒密《天文学大成》中的星表等做了系统整理和介绍。梅文鼎的弟弟梅文鼐在天文学上也有相当的造诣。他曾在康熙二十七年(1688)绘制过《恒星黄道图》、《恒星赤道图》。为此，他对恒星的经纬度进行了校算和考证，发现《西洋新法历书》和《灵台仪象志》互有异同，从而写出了《中西经星同异考》一书，将全天恒星按照三垣二十八宿的顺序对星名进行逐一考订，先列出了《步天歌》中所述星官名和星数，然后依《灵台仪象志》中所载与之对应，注明两者之差。由于《灵台仪象志》中所用星名并非运用西方天文学中以星座为基础的恒星名称，这部著作中的恒星西名实际上也就是南怀仁所使用的中国星名系统，似以“古今经星同异考”作为书名更为恰当。在按《步天歌》的叙述以后以“西歌”的名称列出了有“西学步天歌”之称的《经天该》，它与《步天歌》类似，也是一种通俗的以七字为一句的歌辞，描述了恒星的名称、位置和形状等情况，具体的详细情况我们拟在以后再行讨论。在《经天该》后面还列出了对南天极附近诸星叙述的歌辞，称其为《补歌》，这样对全天恒星都可通过歌辞中的叙述来熟悉和了解了。该著作虽然并未对中国和西方的恒星名称进行直接证认，但对后人了解恒星星名的对应关系还是有一定的意义的。梅文鼎为其作序，对有关情况做了介绍。梅文鼐绘制的《恒星赤道图》于康熙三十五年(1696)刊刻发行，世称“梅文鼐《星图》”。它按照南怀仁《灵台仪象志》中的恒星数据进行考校绘制，图上按星的亮度分为 6 等，分别以三




垣、二十八宿和南极各星分区，共有61幅星图。由于《灵台仪象志》星图未能流传下来，该图弥补了这一缺憾，但因流传不广，现也是硕果仅存，是弥足珍贵的孤本。

在《梅氏丛书辑要》中的第五十八卷是梅文鼎的《恒星纪要》。全卷所叙述的都与恒星观测有关。它包括五个方面的内容。首先，它叙述了观测恒星的中天(即恒星通过观测地点的子午圈)以确定观测时刻的原理和方法，并说明了有关的计算方法。然后列出了88颗较亮恒星的赤经数据和每年赤经、赤纬因随岁差现象而变化所需增或减的数量。虽然这里的赤经数据与《灵台仪象志》中的相同，并非源于作者的实测，但利用有关的计算结果近似地给出了岁差现象对恒星赤道坐标数据的影响，对掌握这些恒星的大致位置是不无好处的。其第三部分则列出了二十八宿距星的赤道经纬度、黄道经纬度数据及星等，也按照传统给出了二十八宿的赤道宿度值、黄道宿度值和二十八宿距星在黄道十二宫中的度分数。看来这些数据均非作者通过实测得到的，而是采用了《灵台仪象志》中的有关数据，有的只是通过计算稍加改变而已。其第四部分则是对各种叙述中所记恒星数目的比较。这一部分介绍了西方天文学中对恒星的有关叙述，翻译了各星座(文中称其为“像”)的中文名称，对各星座的恒星数目进行了统计，并详细对南极各星座及发现情况做了介绍，谈到:“复有西士安德肋者，亦见诸星之旁尚有白气二块，如天汉者。”这应是我国古代对大、小麦哲伦云的最早介绍，虽然到1912年才确认它们是距离银河系最近的河外星系，梅文鼎将其与当时已知由无数小星组成的银河[1]相类比，可以说只是在描述上的巧合。然后这一部分又对丹麦著名天文学家第谷观测恒星位置的情况和星数做了简单的说明。最后才将《西洋新法历书》《天学会通》《天文实用》及《汉志》《晋志》《隋志》中关于恒星数目的不同记述予以汇总对比。第五部分则是对北极星与北天极的角距离进行了讨论，其中最为突出的是梅文鼎准确地指出了沈括得到“天中不动处远极星乃三度有余”[2]的错误所在：



> 按古法自浑仪之南窥浑仪之北，常用衡管，则必过心，所得之度数亦真。惟此候极之枢似有未确。何以言之？南极既亦径七度，则人目可中可边，致有游移。若南枢窄小，令目常在枢心，则目光射星不过仪心而悉成斜望矣。且以圆理征之，人目窥处即圆心为起度之根，而北极之度变七度为三度有半矣。

这一解释与我们在第六节中所引李志超对这一问题的看法基本上是一致的，但前者却早了约300年。梅文鼎还谈到南北朝梁代祖暅可能也犯了同样的错误，由于

---

① 《明史·天文志一》中有“又谓云汉为无数小星”的叙述。

② 《宋史·天文志一》。



祖暅是如何测得北天极“在纽星之末犹一度有余”[1]的并没有详细的资料记述，计算的结果也不能支持梅文鼎的说法，看来这是难以成立的。至于梅文鼎批评《宋史·天文志一》中述及南宋对极星的观测时“误以北极出地之高下差为极星去不动处之距度，作史者之疏乃如此。”看来这一批评正确的可能性并不很大，有关看法在第六节中已经讨论过了，这里就不再重复了。

除《恒星纪要》外，梅文鼎关于恒星观测的一些论述还散见于他的其他天文历法著作之中。在《历学答问》中他就在解答沧州刘介锡所提的问题对恒星位置是否经常有变化进行了探讨，由于恒星的自行很小，他认为恒星位置并未发现有明显移动，指出星占书籍中的动移之说是不对的。他还对恒星受岁差现象的影响而位置发生变化的情况做了说明，指出了中西历法作岁差改正时的不同做法，认为中国古代历法采取冬至点移动而天空中恒星坐标不变的做法比西方黄道十二宫宫次随岁差而变显得较为合理。在《西国三十杂星考》中则根据恒星位置的情况对回回历法中的 30 颗杂星进行了证认，取得了较为满意的结果。在他早年撰写的《历学骈枝》中列有根据授时历中黄道宿度数据累加而成的黄道各宿次积度钤，它表示二十八宿在黄道上所占范围的终点的位置，这实际上与黄经的概念已十分相似，只是前者以箕宿的开始作为起算点，后者从春分点起算，且使用角度单位尚有差异而已。他还根据明代天启元年(1621)冬至点在箕宿 4 度 51 分位置处推算出相应的黄道积度，即从该点起算的二十八宿各终点处所对应的黄道经度。它与书中所列出的与天启元年相应的赤道四象积度(即分别以分、至点作为起点的赤道宿度的累加)、黄道宿度值和黄道各宿次积度钤均都做过岁差改正，这明确显示了梅文鼎对引起恒星位置数据变化的主要原因已经有了认识，人们对岁差现象认识的应用已不只局限于历法的推算，已开始运用在推算恒星的位置数据上了。虽然这种推算的精度不可能很高，但这是中国古代最早开始采用这种方法的，其意义不可低估。在《历学疑问》的“论恒星东移有据”一篇中论及历代恒星位置数据的变化时明确讲到：

> 二十八宿之距度古今六测不同，故郭太史疑其动移，此盖星既循黄道东行，而古测皆依赤道。黄赤斜交，句弦异视，所以度有伸缩正由距有横斜耳，不则岂其前人所测皆不足凭哉？

用当时所认识的岁差现象相当合理地解释了恒星位置数据的变化。当然，将岁差现象理解为所有恒星均循黄道向东移动是相当不准确的，但用它来解释恒星位置的变化在当时还是有一定的进步意义的。在《历学疑问》“论黄道有极”一篇中则更明确指出：



---

① 《隋书·天文志上》。

> 古法岁差亦只在黄道之一线，今以恒星东移，则普天星斗尽有古今之差，惟黄道极终古不动，岂非真有黄极以为运转之枢哉？曰然则北辰非黄极也，今日惟黄极不动，岂北辰亦动欤？曰：以每日之周转言，则周天星度皆东升西没，惟北辰不动。以恒星东移之差言则虽北辰亦有动移，而惟黄极不动。盖动天西旋，以赤道之极为枢；而恒星东移，以黄道之极为枢，皆本实测，各有至理也。

将日月岁差及其对恒星位置的影响讲得十分清楚，只是这里将日月岁差理解为恒星沿黄道向东移动而不够准确而已。以上梅文鼎关于恒星的见解虽然不能说是他独立产生的新认识，而是他长期学习西方先进天文学知识的结果，但不应抹煞其在认识恒星位置方面的规律所起的作用，这对中国清代时人们认识的深化具有相当重要的意义，实际上也为近代天文学中恒星观测的发展打下了坚实的基础。

除梅文鼎兄弟外，清代民间天文学家在恒星观测方面的工作集中在两个方面。一方面是通过观测恒星来确定当时的时刻。从清初开始就出现过几部专门用于观测恒星的中天以确定时刻的星表，这点我们在以后还会谈到。在徐朝俊所著《高厚蒙求》一书中还介绍了用于观测恒星中天以确定时刻的中星仪和专门观测帝星、勾陈两星连线的周日方位变化来确定时刻的星晷的原理、制作和使用等情况，这表明在清代民间为了确定夜间的时刻已较为普遍地观测恒星了。另一方面则是大量恒星图表的编绘。除了上述恒星的中天星表外，比较著名的有：著名学者李锐的学生李兆洛等人绘制的《恒星赤道经纬度图》、六严的《赤道恒星经纬图》、张作楠的《新测恒星图表》1 卷等。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中谈到，他曾于 1959 年于苏州某旧书店中发现有五六十种恒星图籍钞本，都为清代写本。可见清代民间从事恒星图表的编制的人是相当多的，可惜要将其收集齐全进行研究是十分困难的，对其中可能存在的高水平创作也就很难发现了。值得一提的是在内蒙古图书馆中藏有一部蒙文写本《天文星占学》，其中也有三垣二十八宿占、《步天歌》及其附图、黄道星图两幅。从书中述及望远镜、九重天、南极附近的星座等情况来看，它应是西方天文学知识传入我国以后的作品，根据其五星运行理论是采用 18 世纪前期才在我国出现的地心体系，人们判断它可能成书于 18 世纪中期以后。[①] 其中《步天歌》及附图基本上与汉族地区一致；两幅黄道南北星图为毛笔绘制，除绘有黄极外还绘有北天极和分别通过黄极、北天极的十二宫的分界线，另外也有二十八宿宿度范围相应的标志。星图采取俯视的形式，即与在天球外观察得到的情况是一致的。图中共绘制了传统星官的 1 215 颗恒星和近南极的 21 个星座中的 107 颗恒星，合计



---

① 李迪：《蒙文〈天文星占学〉研究》，内蒙古师范学院，1980 年，油印本。



1 322 星。由于传统星官中的某些安排与《仪象考成》基本符合，潘鼐认为它绘制于1744年后，有可能与蒙古族天文学家明安图任钦天监监正的年代(1760—1762)一致[①]。另外还值得提起的是清代出现的我国古代屈指可数的女天文学家，在恒星观测上也做出了一定的成绩。乾隆时的王贞仪就著有《星象图释》二卷、《经星辩》等与恒星观测有关的著作。咸丰五年，另一女天文学家江蕙则编绘了一本《二十四气中星图考》，对前人的中星图进行了修订。按二十四节气绘成扇面形的星图24幅，再加上紫微垣1幅，星图绘制相当精细纤秀，确为难得之佳作。

相当于球面星图的天球仪(即上面讲到过的浑象)在清代也多次制造。除南怀仁主持制作的天体仪外，在光绪三十一年(1905)曾因上述天体仪被八国联军劫夺而另行制作，其尺寸为原物之半，这台天体仪现保存于南京中国科学院紫金山天文台。另在北京故宫博物院中也保存有清代制作的天球仪数台。乾隆年间制作的金天球仪上镶有珍珠作为恒星标志，可以说是价值连城。另外也有中型天球仪其直径达50厘米左右，是比较实用的星空演示仪器。民间则有邹伯奇、齐彦槐等人都制作过天球仪，后者制作的是天球仪钟若干座，现仍有两座分别陈列于北京中国历史博物馆和广东博物馆。这些天球仪既反映了人们进行恒星观测所得到的成果，表现了恒星相互位置的情况，又可为普及星空知识起积极作用，它们在一定程度上适应了清代天文学活跃发展的需要。





① 《中国恒星观测史》。

# 第五章　中国古代对恒星位置的描述

中国古代的人们通过观察对恒星有所了解后常会通过各种方式表现出来，用语言文字来描述各恒星之间的相对位置则是最直接的一种方式。在第四章中我们谈到在春秋时代以前人们早就从事观象授时的工作，在帝尧时代、夏代时人们观测恒星的一些情况就是通过语言文字流传下来的，尽管有些描述后来已经难以确定它们是否确是当时天象的反映了。以后商代的甲骨文中，《诗经》、《左传》等著作中虽然都有关于恒星的记述，但它们都只是一些零碎的记述。对恒星的系统描述以《史记·天官书》为最早。

## 第一节　《史记·天官书》中的恒星位置

《史记》是我国第一部纪传体通史，是西汉著名史学家、文学家和思想家也是天文学家的司马迁撰写的。其中有8种称为“书”的部分，用以记述有关制度的沿革，《天官书》就是其中之一。其主要内容就有恒星位置的有关叙述、五大行星的运动规律和有关的星占文字、岁星纪年和太岁纪年、异常天象等，其中关于恒星的叙述集中放在篇首，且在其他内容中也时有涉及，应该说是最受重视的。



### 一、恒星的相对位置



《史记·天官书》中关于恒星位置的叙述是按照当时人们对恒星分区的规则进行叙述的。先叙述中宫，其区域相当于今天的拱极星区。从北极星开始谈起，述及在其附近的一些恒星及其象征，并最早使用了紫宫的名称，这就是以后紫微垣(又叫紫微宫)的前身。再由此向外延伸，叙述了阴德(又叫天一)、天枪、天棓、阁道、北斗、文昌等星官的相对位置及星数。然后再以东宫苍龙、南宫朱鸟、西宫白虎、北宫玄武四象的次序依次叙述了二十八宿各星官和某些在其范围内的星官的相对位置情况和星数、星占学上的意义等。这里二十八宿的名称和以后使用的完全相同。而与在《史记·律书》中叙述八风二十八舍时所用的二十八舍名称小有差异。《史记·天官书》中的南斗、婺女、昴、毕、觜觿、东井、舆鬼、柳各宿在《史记·律书》中分别改用建星、须女、留、浊、罚、狼、弧、注。另外还有三宿的名称虽然相同，但在排列次序上却有差异。潘鼐在《中国恒星观测史》中认为它们可能相应于不同的体系，



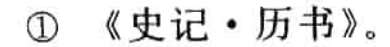
《史记·天官书》中二十八宿是属于石氏体系，而《史记·律书》的二十八舍则与甘氏体系相应，这看来是有一定的道理的。在《汉书·天文志》中叙述岁星（即木星）于不同年份在恒星间的位置时提到了石氏与甘氏的二十八宿名称，其情况是与上述相同的。据《史记索隐》注解：须女"婺女名也"，"注，咮也。《天官书》云：'柳为鸟咮'，则注，柳星也。""留即昴，《毛传》亦以留为昴。""按：《尔雅》'浊谓之毕'"。故八星中实际上只有四星有差异，即南斗、觜觿、东井、舆鬼与建星、罚、狼、弧之不同。关于甘氏在《晋书·天文志》中有"齐有甘德"的说法，而在南北朝时刘宋裴骃的《史记集解》又说："或曰甘公名德也，本是鲁人。"唐代张守节《史记正义》中引述《七录》中的记述则将其说成是楚人："《七录》云，楚人，战国时作《天文星占》八卷。"也即甘氏有齐、鲁、楚人三种说法。根据近年在湖北省随县擂鼓墩曾侯乙墓中出土的漆箱箱盖上所写的二十八宿名基本上与石氏相同的情况，可以基本上排除甘氏是楚人的可能性，因为甘氏在其生活的时代是具有相当影响的天文学派，如他是楚人，在受到楚文化相当深入影响的地区不可能会没有反映。通常认为司马迁是沿袭了当时天文学家唐都所建立的恒星体系，而唐都"分其天部"[①]时是按照石氏体系，故《史记·天官书》中二十八宿也是石氏体系。《史记·律书》并非司马迁原著，而是由西汉史学家褚少孙补作的，后者就将甘氏体系引进了，从而造成了两者的不同。《史记·天官书》中将全天可见的恒星区域分为中、东、南、西、北五宫的方法，实际上是以后三垣二十八宿体系形成的基础，它一直沿用到隋代以后，其影响是相当深远的。至于东、西、南、北四宫与四象是完全一致的，后者在中国古代天文学中是始终运用的概念，其影响也就更为深远。《史记·天官书》在叙述二十八宿恒星时也将其附近的恒星一起叙述，这也与以后划分三垣二十八宿时采取的做法十分类似，应被认为是后者的先声。在叙述恒星的相对位置时用了"旁"、"后"、"左"、"右"、"下"、"中"、"前"、"内"、"外"和表示方向的东、西、南、北等字眼，虽然难以给人以明晰的概念，但通过对某些星官成员数目和分布形状的描述，人们还是不难对恒星的分布情况有一个大致的了解。在潘鼐《中国恒星观测史》中曾对《史记·天官书》中所述恒星的数目进行过统计："摘《天官书》，可得星名 92，倘将二十八宿辅官附座六个并入各宿，则共有八十六个星座或星官，……其中有十一个星座未记星数，七十五个星座记有星数，七十五座共记恒星 412 颗，……这份资料可说是最早的星表文献。"给予了一定的评价。





## 二、恒星的亮度、颜色

要判断恒星的相对位置情况，对恒星的亮度、颜色有所了解也是有参考价值



① 《史记·历书》。

的。《史记·天官书》中对恒星的亮度情况的叙述是有明显区别的。其中对最亮的恒星则称之为大星："轩辕，黄龙体，前大星，女主象；……""心为明堂，大星天王，……"据统计，除个别星外，绝大部分大星都亮于现今恒星亮度标准所确定的2等星。比大星稍暗的恒星被叫作明者："中宫天极星，其一明者，太一常居也；……"但《史记·天官书》全部叙述中也只有这一颗恒星即小熊座β星获此称谓，它亮度为2.2等。第三类则直称为星，未加任何形容词，当比明者稍暗，但由于其名称也可作为泛指，对不同亮度的恒星都可使用，在叙述中不强调恒星的亮度时就有些甚至像织女星这样亮度为零等的亮星或较暗的恒星也被描述为"星"，但绝大多数称为星的恒星的亮度是在3、4等。可能也由于同样的原因，《史记·天官书》中述及的恒星以该类为多。第四类星则称为小星："轸为车，主风。其旁有一小星，曰长沙，……"；"毕曰罕车，……其大星旁小星为附耳。"这类星的亮度是比较暗的，其亮度比四等星要暗。《史记·天官书》中的小星除上引述的长沙、附耳外还有轩辕星官中的御者、觜觿"小三星"。它们的平均亮度为4.4等。最暗的一类恒星被形容为"若见若不"："前列直斗口三星，随北端兑，若见若不，曰阴德，或曰天一。"这种叙述在《史记·天官书》中虽然仅此一条，但它所叙述的是人们目力所及的最暗恒星，当然是与以上四类有所区别的。这类恒星的亮度当为6等左右。从以上情况来看，《史记·天官书》中对恒星亮度的描述是相当粗糙、原始的，它既没有与古希腊天文学中类似的严格的星等概念，也未对其所观察到的恒星逐一分类鉴别，只是在叙述恒星相对位置时为了辨认的方便而对部分恒星的亮度情况进行叙述，充分体现了中国古代天文学上注重实用的特点。也正是这种原始的、缺乏系统性的认识，使中国古代对恒星亮度的认识始终未能建立起数量上的概念，直到明代末年西方天文学知识传入以后才有了改变。尽管如此，《史记·天官书》最早记述了恒星的不同亮度，这对中国古代天文学的发展和了解古代天象情况还是具有重要意义的。



值得注意的是，根据《史记·天官书》的记述，人们还认为司马迁当时已经发现了某些恒星亮度的变化，即观察到了变星。[①] 在《史记·天官书》中记有："有句圜十五星，属杓，曰贱人之牢。其牢中星实则囚多，虚则开出。"人们认为这是指北冕星座的半圆形所在的区域，其中有两颗变星的亮度会从5.8等和6.6等变化到14.8等和14等，这样有时人们能够勉强观察到它们，有时又看不到，这就分别出现了"实"和"虚"的视觉感受，看来是有道理的。同样，"旗中四星曰天市，……市中星众者实，其虚则秏。""中有三柱，柱不具，兵起。"两段叙述也可用类似的道理来解释。另外还有四段叙述："辅星明近，辅臣亲强；斥小，疏弱。""轸为车，主风，其旁有

① 薄树人，《自然杂志》，1981年，第9期。



一小星，曰长沙，星星不欲明，明与四星等，……”；“北落若微亡，军星动角益希，……”也谈到了恒星亮度的变化现象，但要合理地对其做出解释还是需要进一步研究的。

关于恒星的颜色的叙述，《史记·天官书》中也是记述最早的。在叙述到舆鬼时谈到：“中白者为质。”质星现代被称为鬼星团，其颜色与现代观察结果无异。另有“匏瓜，有青黑星守之，鱼盐贵。”在述及太白（即金星）的颜色时则有：“太白白，比狼；赤，比心；黄，比参左肩；苍，比参右肩；黑，比奎大星。”将五颗不同颜色的恒星作为比较的标准，可见当时人们对恒星的颜色已进行过相当仔细的观察与比较，并得到相当明确的概念。这里的狼就是天狼星（大犬座α星）、心就是心宿二（天蝎座α星）、参左肩为参宿四（猎户座α星）、参右肩即参宿五（猎户座γ星）、奎大星是奎宿九（仙女座β星）；黑色实际上是指暗红色。在薄树人、王健民、刘金沂所写《论参宿四两千年来的颜色变化》[①]一文中对这段叙述中四颗星的颜色给予了肯定：古代对天狼星、心宿二、参宿五和奎宿九颜色的描述同现今观测到的一致：天狼星为A0型，白色；心宿二为M1型，红色；参宿五为B2型，青色（即苍色）。至于奎宿九，它是一个M0型的二等星，是五个比较星中最暗的一个，因它较暗弱，又呈红色，古代把它描述为黑色，同实际情况也是一致的。只有参宿四是现今观察到的最亮的红色超巨星（M2Ⅰ型号），与上面记述中的“黄，比参左肩”已有不同。由于另四颗星的颜色都与现今观察的结果符合，且又有心宿二作为红色的标准，故可认为在2 000多年以前参宿四确为黄色。作者认为它由黄变红的可能原因之一就是其本身的演化，而其超额的红外辐射以及很大的质量损失则也可能是促使其演化的因素。这一颜色变化的情况也对天体演化理论中的某些说法提出了新的理论问题。显然，《史记·天官书》中对恒星颜色的记述对现代天文学研究天体演化问题还是具有一定意义的。但也有人认为由于橙红色与黄色比较接近，古人依五行配五色的原则勉强将其说成是黄色，但由于天空中黄色的恒星也不鲜见，并无必要如此勉强，故此一说法似难成立。美国波士顿大学的布瑞彻博士则认为该星本来就是红色的，在2 700多年前发生过一次爆发，使其颜色变淡，以后几百年中又慢慢恢复为红色。情况究竟如何看来还有待于进一步深入研究。有的研究还说到《史记·天官书》中还记有昴星白色和南极老人星赤色。前者在正文中似无记述，但它与现今观察的结果倒是符合的。后者可能是从“国皇星，大而赤，状类南极”的记述推知，但“状类南极”又似无涉及其颜色之意，尚难以肯定这一记述的真实性。南极老人星即船底座α星，光谱型为F0型，黄白色，与赤色相差很大，有人认为这可能是







① 薄树人等，《科技史文集》第一辑，上海科学技术出版社，1978年。

其赤纬为负值，在中原地区观察它，其地平高度很低，近地面的大气消光使其颜色偏红，看来是具有一定道理的。不过其情况是否真是如此也还是需要进一步研究的。尽管在某些问题上不同研究者的看法也不尽相同，但作为中国古代对恒星颜色最早做出的记述，其贡献还是应该予以肯定的。

从以上的情况可以看到，《史记·天官书》中对恒星位置及有关情况的描述虽然是最早的系统叙述，但其所涉及的内容已经是相当丰富的，反映了人们当时对恒星情况的认识水平，对研究古代天文学发展的状况具有相当重要的意义。也正是由于它开了风气之先，在以后历代的某些史籍中也就有了类似内容的记述。除《汉书·天文志》是基本上抄录《史记·天官书》的有关内容外，它们都能按照当时人们对恒星情况的认识来进行叙述，从而也就提供了相对丰富的研究资料。其叙述方法也均是采取将恒星分区后依次展开的格局，这表明它们与《史记·天官书》确是有着明显的渊源关系的，尽管在各历史时期人们对恒星的分区总存在着或多或少的差别。从这一意义上来看，《史记·天官书》关于恒星的叙述在我国古代天文学的发展过程中确实是具有相当重要地位的。由于我们在述及历代人们对恒星位置的观测工作时已经大量引用过相应史籍中的有关叙述，以后在叙述到相应的问题时也还会有所引用，为了避免重复，在本章中以后的叙述中不拟对它们再做系统的介绍，在以下几节中将只对在史籍之外对我国天文学发展有一定影响的对恒星位置进行描述的著作做简要的介绍。

## 第二节　文学著作中的星象描述





### 一、隋代以前的星象描述

由于对恒星位置的观察和认识是古代人们社会生活中的客观存在，它也就会在一些文学作品中或多或少地得到反映。《诗经》中“三星在天”、“七月流火”、“定之方中”、“维南有箕”等诗句就是最早对恒星的文学描述。东汉后期《古诗十九首》中也有“迢迢牵牛星，皎皎河汉女”的诗句。但这些都是借对天象的描述来抒发作者的感情的，并不是专门描述恒星的文学著作。而只有后者才能较为全面系统地反映当时人们在恒星观测方面的认识水平。

中国古代最早描述星象的专门文学著作当数相传为东汉时著名天文学家张衡所写的《天象赋》。据南宋赵希弁记述：“《郡斋读书附志》拾遗卷云：《天象赋》一卷。右题后汉尚书张衡撰，蜀丞相诸葛亮注。然书中引用晋事，决非亮也。希弁尝以秘书省阙书目考之，《天象赋》一卷，张衡撰，李淳风注。疑此为是。”但由于南宋与东



汉相距年代久远,《天象赋》也无传本遗留至今,张衡是否确写此赋尚属可疑。明代张溥辑录《张河间集》时曾收录过一篇《周天大象赋》,认为它是张衡的著作。清代编纂的《古今图书集成·历象汇编·乾象典·星辰部艺文一》中也节录了这篇赋,并署名汉张衡,但它是否确为张衡所著,看来依然还是有疑问的。不过在张衡所著《灵宪》中对宇宙的有关认识做了精辟的阐述,其中也涉及恒星分区情况的内容;他制作了水运浑象,列有"二十八宿中外星官"[①],表明他已清楚地掌握了恒星在天空中的分布情况;他又具有相当高的文学素养,著有《二京赋》、《归田赋》等著名文学著作。从这些情况看,张衡写《天象赋》也是十分可能的,但它与后来所传《周天大象赋》是否相同尚难以确定。后者的内容与下面将要提到的《天文大象赋》基本相同,问题实际上也就归结为《天文大象赋》是否可能由张衡所撰。这在下面我们再予讨论。

收录在编号为 P3589 的《敦煌写本》残卷中的《玄象诗》题名为"太史令陈卓撰",当是陈卓在担任吴国或后来魏晋的太史令时写的。其有关情况我们拟在下一节中专门讨论。

南北朝时在北魏政权中担任过太史令的张渊做过一篇《观象赋》。清代《古今图书集成·历象汇编·乾象典·星辰部艺文一》中也收录了它,其内容也就是以一个观测者的眼光从紫微宫开始对全天星官的状态依次进行了描述。其中有些也就提供了某些星官所处位置的粗糙信息:"傍极四维,北鉴玑衡,南睹太微,三台皦皦以双列,皇座冏冏以垂晖,虎贲执锐于前阶,常陈屯聚于后闱。"将这一小范围内的星官位置、排列、亮度等情况给予了形象的说明。类似的叙述将全天可见的星官大多述及,从而给人们以清晰的概念。但由于这些叙述相对来说还是较为粗糙的,人们只有在对恒星的分布情况有了大致的了解后才有可能建立起上述概念。在这一意义上说,它对中国古代天文学的发展和普及所起的作用是有限的,其科学意义也不是太大。其后一部分是关于占星术的一些叙述,其科学性就更不值一提了。潘鼐曾对《观象赋》中的星名进行了研究,发现它除将天庙、离珠、阵车分别写成清庙、丽珠、陈车外,还出现了皇座、鸿治(应为鸿沼)、竹林、鼓吹等从未见过的星名[②],这对研究中国古代星名的演变看来还是有一定意义的。




## 二、《天文大象赋》和类似作品

流传下来的对恒星位置的描述且影响较大的是《天文大象赋》。关于其作者历来有不同的说法。南宋王应麟所编《玉海》中有"《中兴书目》大象赋一卷,题张衡

① 《晋书·天文志上》。

② 潘鼐:《中国恒星观测史》。

撰，李淳风注”的记述，注解中又提到：“一本云，大象赋，杨炯撰，华怀亮注。”《宋史·艺文志》则称：“张衡大象赋一卷，苗为注。”潘鼐在《中国恒星观测史》一书中认为该赋采用的是六朝赋体，与张衡所写的文学作品风格迥异，它不可能是张衡所作，看来是有一定道理的，虽然这并不能绝对排除是张衡所作的可能性。有可能张衡所作《天象赋》与《大象赋》只有一笔之差，在翻刻的过程中将其混淆了，从而出现了这一说法。唐初时的杨炯曾经写过《浑天赋》一篇，在《古今图书集成·历象汇编·乾象典·星辰部艺文一》中节录了它。其内容除了对浑天说做了简单描述外，以相当大的篇幅描述了星空的分布情况，其叙述采用了类似于《史记·天官书》中将恒星分为五宫的方法，依次引经据典用生动形象的语言对全天的星官进行了叙述。在这种情况下杨炯似不大可能再写题材与其类似的文章，《天文大象赋》由杨炯撰写的可能性也是可以排除的。在《新唐书·艺文志三》中记述有：“黄冠子李播《天文大象赋》一卷，李台集解。”宋代《崇文总目》、《通志·艺文略》和南宋王应麟的《困学纪闻》中也有类似的记述，通常人们将其看作是隋唐之交时李播的作品。李播是唐代著名天文学家李淳风之父，于唐高祖时弃官去做道士，自号黄冠子。《天文大象赋》之末有“有少微之养寂，无进贤之见誉，……耻附耳以求达，方卷舌以幽居，且扃扉而绝驷，奈临河而羡鱼，望天门而屏迹，安知公卿之所如”的句子，它们与李播弃官求道的思想境界是相当符合的。清代顾广圻、六严等人将其定为李播的作品似不会有太大的疑问。纵观全文，基本上均是对仗工整、词藻华丽的骈体文，其叙述恒星的位置情况仍是按照《史记·天官书》中的体制，即将可见的恒星区域划分为五宫再依次进行叙述。其所述及的星官共有 283 个，这一数字与《晋书·天文志上》、《隋书·天文志上》中所记陈卓总结甘氏、石氏和巫咸氏三家星经后所得的星官总数是相符的，而和张衡所撰《灵宪》中所述“中外之官，常明者百有二十四，可名者三百二十，为星二千五百，……”有相当大的差别，从这点也可看出，《天文大象赋》不太可能是张衡所著。该赋的注文中还对各星官的成员星数做了说明。潘鼐统计其共有 1 463 颗星[①]，这与《晋书·天文志上》中所述陈卓的各星官恒星总数 1 464 也是基本相符的。赋中虽然述及太微、天市的名称，但它们只是作为星官的名称出现的，而不是用来称呼相应的恒星区域的，这表明当时三垣二十八宿的恒星体系或者是尚未建立，或者是虽已建立但还未能被人们普遍接受，这与隋或初唐时期人们划分恒星区域的情况还是符合的。叙述中很少引经据典，语言虽相当优美流畅但还是比较通俗易懂的：“龟曳尾而波泳，鱼张鳞而水嬉，天江为太阴之主，傅说奉中闱之祠，糠为簸扬之物，杵为舂臼之用，天钥司其启闭，丈人存其播种，……”



① 潘鼐：《中国恒星观测史》。



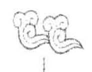
叙述中有些谈到了星官的排列形状："环藩卫以曲列，俨闾阖之洞开，北斗标建车之象，移节度而齐七政。""钩主震而屈曲，宛如钩而取象。"有些则涉及星官的位置："阵车雷击乎其南，天乳露滋乎其北。""历龙尾以及箕，跨北燕而在兹。""左更处东而掌虞，右更居西以司牧。"也有的讲的是恒星的亮度和颜色："势微微而有象，辅熠熠而流光。""何大角之皎皎，夹摄提之融融。""亦有天屎，质黄效灵。"这些都为研究当时人们对恒星情况的认识提供了有关信息。但也有一些却是与占星术有关的叙述："长沙明而献寿，车辖朗而陈兵。"另外还有相当多的叙述只是从星官名称的含义出发，进行了文学上的发挥，对恒星本身的情况并未提供任何有关的信息，这些叙述在科学上也都是没有太多意义的，只不过对星官名称的变化历史提供了一点研究资料而已。

关于初唐杨炯所写的《浑天赋》我们已经简单介绍过其情况。其叙述也与《天文大象赋》类似，涉及相当多的星官名称，但多是对这些名称含义的发挥，对辨认星官的位置并无裨益。叙述仍属于五宫体系，表明当时三垣二十八宿的恒星分区体系尚未被普遍接受。其语言似无《天文大象赋》优美生动，叙述的系统性也相对逊色，其影响自然也没有后者大。杨炯还写过一篇《老人星赋》，对老人星出现的情况做了相当生动的描述：

> 南极之庭，老人之星，煜煜爚爚，煌煌荧荧，秋分之旦见于丙，春分之夕入乎丁。……晃如金粟，粲若银烛。比秋草之一萤，状荆山之片玉。浑浑熊熊，悬紫贝于河宫，烨烨炜炜，曜明珠于汉水。其光也如丹，其大也如李。

对老人星出没日期和方位、颜色、亮度、位置等情况均有涉及，但从整体来看，它终究是一篇文学著作，对其在天文学上的意义不宜估计过高。唐代类似的文学著作还有一些；后来宋代又有吴淑撰《星赋》、范仲淹作《老人星赋》、米黻写《参赋》等；元代也有汪克宽的《紫微垣赋》、王诜的《帝车赋》等；明代何景明写过一篇《织女赋》、娄枢曾做过《河内星野魏分与卫分考》的文章等。另外还有难以一一枚举的观星诗文。所有这些作品绝大部分都与上面已经谈到过的基本上属于同一类型，不宜对其在天文学上的意义给予太高的评价。它们更多地是反映了作者的思想感情。以唐代著名文学家皮日休所写《酒星》诗为例："谁遣酒旗耀，天文列其位。彩微尝似酣，芒弱偏如醉。惟有犯帝座，只恐骑天驷。若遇卷舌星，谗君应堕地。"虽然说到了酒旗、帝座、天驷、卷舌、（天）谗等星官名称，但并未涉及这些星官的具体情况，作者的政治愿望、思想感情却跃然纸上。对这类文学作品我们在这里也就不必多费笔墨了。





## 第三节 《敦煌写本》与《玄象诗》

### 一、《敦煌写本》

清代光绪三十四年(1908),法国人伯希和(Paul Pelliot)以不正当的手段从我国敦煌莫高窟攫取了一份天文星占抄件残卷。由于该残卷现藏法国国家图书馆,其编号为P2512,人们称其为P2512《敦煌写本》。根据卷中有"自天皇以来至武德四年二百七十六万一千一百八岁"的记述,可以知道抄本的年代不会早于公元621年("武德"是唐高祖李渊时采用的年号,于公元618年开始使用),通常认为它是唐初时的抄本。该抄本在开始处有残缺,残存部分约300行,字数为8 500字左右。其内容大致可分为四部分,即有残缺的关于占星术的记述、二十八宿次位经和三家星经、玄象诗、日月旁气。其中第一部分只残存有外官占、巫咸占、占五星色变动、占列宿变、五星逆顺、分野、十二次、九州等完整章节,不完整的章节据潘鼐先生判断当为"中官占"[①]。这些占星文字虽然与天文学的发展并无太多的联系,但其中涉及一些星官名称和相应各星官中的星数,这为研究中国古代星官划分方法上的变迁情况具有一定的意义。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中就将其与《开元占经》中的记述进行了对比研究,并引用《史记·天官书》中的记述,对某几处差异给予了较为合理的解释。根据占星术中分野的记述中有同州及该地名在唐代贞观年间一度被废除的情况,可以断定《敦煌写本》确为初唐时的作品。抄本第四部分日月旁气是叙述太阳、月亮附近的云气变化的。这实际上是大气中的某些光学现象,相当于日晕、月晕等现象。它与恒星位置并无太大的关系。我们较感兴趣的是抄本的第二、三部分。



抄本第二部分的二十八宿次位经列出了二十八宿的星数、宿度,并给出了各宿的距星和它们的去极度坐标数据。其宿度数据与《淮南子·天文训》及《汉书·律历志》中所列基本相同,距星的选取及其去极度数据多与《开元占经》中引述的相同,这表明它们有可能是同出一源,这就可以将这些数据参考其他有关资料进行校验考订的工作,从而得到相对可靠的数据。

抄本第二部分还谈到三家星经。关于石氏、甘氏、巫咸三家星经的系统整理与综合的情况我们在上一章第四节中已有评述。三国魏晋时天文学家陈卓综合各天文流派将恒星分区的做法形成了相对完整的恒星位置体系确实是具有重大而深远

---

① 潘鼐:《中国恒星观测史》。



的意义的，为中国古代天文学的发展，尤其是恒星观测工作作出了不可磨灭的贡献。但对于陈卓工作的结果除在《开元占经》中有一定的反映外几乎所有的史籍均未做详细的介绍，抄本中的有关论述则弥补了这一不足，使人们可以通过它和《开元占经》中有关叙述的研究对陈卓的贡献有进一步的了解。其记述是按"石氏中官"、"石氏外官"、"甘氏中官"、"甘氏外官"、"巫咸中外官"的顺序，依次列出了各星官的名称、星数、相对位置情况，叙述相当简明扼要。例如在"石氏星官"部分就有"摄提六星夹太(大)角，大角一星摄提间，梗河三星大角北，招摇一星梗河北"的记述，用最少的文字概述了四个星官的大致情况。这里并没有引用关于各星官的星占文字，从这一点看来，抄本中这一部分天文学知识所受到古代星占学的影响相对来说是比较少的，它基本上是人们观察恒星位置所得概念的客观反映。通过对其研究是能够得到一些有益的结果的。在这一方面，潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中做出了相当出色的工作。在抄本中将三家星的星数分别做了统计，得到："合廿八宿一百八十二星。""石氏中官六十四坐，二百七十星，赤。""石氏外官三十坐，凡二百五十七星。合廿八宿及中外官一百廿一坐，八百九星，赤。""甘氏中官七十六坐，二百八十一星，皆黑。""甘氏外官卌二坐，二百三十星。合中官一百一十八坐，五百十一星，黑。""巫咸中外官卌四坐，一百卌四星，黄。""合石、甘氏、巫咸三家星，总有二百八十三坐，一千四百六十四星。"这里"卌"就是四十，"赤"、"黑"、"黄"则是在星图上为区分三家星所采用的不同颜色标志。其最后的总数恰与《晋书·天文志上》中所记"后武帝时，太史令陈卓总甘、石、巫咸三家所著星图，大凡二百八十三官，一千四百六十四星，以为定纪"完全符合。这表明抄本中所反映的确是陈卓通过综合整理所建立的恒星位置体系，为研究后者提供了确凿的资料。但在具体的星数上却还是存在一些问题的。潘鼐统计了抄本中石氏中官的数目为 56，比数字中所列 64 座少了 8 座。他通过与《开元占经》进行对比研究，发现有 4 座依次应排列在阁道之后，另 4 座应排列在太阳守之后，而阁道、太阳守两星官均分别位于抄本中某行的最下处，抄本是每一行叙述 4 座星官，这显然是抄录时分别在阁道、太阳守后各漏抄了一行的缘故。他还发现在《开元占经》中也缺少了 6 座星官，《开元占经·石氏中官占》卷六十六末为《太微星占四十六》，卷六十七首则为《三台占五十三》，两者间缺少"占四十七"至"占五十二"共 6 节，而抄本中在"太微十星翼轸北"和"三台六星，两两而居，起文昌，列太微"之间恰有《开元占经》中所缺的 6 座星官共 32 星。通过对比印证的方法能够成功地解决抄本与《开元占经》中的残缺问题似乎表明它们两者是同出一源的。通过统计并与石氏星官总星数校验，潘鼐还发现石氏中官的星数 270 为 370 之误。其他统计结果均与抄本中的叙述相同。潘鼐还根据该抄本、《开元占经》和《隋书·天文志》中的记述对各星官包含的星数




进行了考订，其方法是以有两条相同记述者为准，虽然并不复杂，但还是合理的。不过星官的范围在很大程度上取决于人们的主观规定，其成员星的多少也就受到人为因素的影响，故研究各星官星数的多少并无太大的意义。潘鼐在研究中还认为《隋书·天文志上》中对恒星的叙述也“取材于三家星官”，其理由有三：各星官的划分方法相同；某些特殊星名的写法一致；某些描述星官位置的措辞类似。看来是有一定的道理的。《晋书·天文志》、《隋书·天文志》均出于唐代天文学家李淳风之手。其关于恒星位置的叙述体例基本相同，都是将各星官分为中宫、二十八舍、星官在二十八宿之外者三个部分进行叙述的，只是《隋书·天文志》中根据晋代以后的一些文献资料予以补充而显得略为周详。作为一个朝代的天文志当然要反映当时人们对恒星情况的认识，如果李淳风能够看到陈卓对三家星官整理的资料的话当然会在其笔下将有关内容反映出来，有一些相同之处也就不足为奇了。不过这两部天文志中的叙述均不以三家星官的面目出现，而采用了完全不同的体制，这一体制不知是否是在晋代陈卓的三家星官体系流行的同时就已存在的？抑或是李淳风为叙述的方便对三家星官体系所做的改编？如果是前者，由于存在相当的类同之处，它与三家星官体系可能也是同出一源的，即均是根据前人已有的认识进行整理而得到的。情况究竟如何，看来还难以得到最后的结论。潘鼐根据抄本、《开元占经》、《隋书·天文志》中对恒星位置的描述进行对比核对，以考证具不同叙述的星官的正确位置，对候、宗正、宗人、太阳守、柱下史等22座星官位置做了考据，是具有相当重要的意义的。

## 二、《玄象诗》





P2512《敦煌写本》的第三部分《玄象诗》是近代发现的一部重要的古代天文学文献。在隋代以前的历史资料中均未谈到它，以后关于恒星的一些记述中也看不到其踪迹，这可能是由于在唐代以前连年战乱使其得不到广泛流传，而初唐以后天文学得到较快的发展，尤其是《步天歌》的开始流行使其重要性又大为逊色而未受到重视的缘故。它是一首叙述恒星相对位置情况的长篇诗歌。五字一句，共有260余句。未署作者名。但在从敦煌莫高窟发现的现亦保存于法国国家图书馆的P3589《敦煌写本》残卷中也记录有《玄象诗》，诗后所注文字中有“太史令陈卓撰”字样，如果这不是后人的托名，表明《玄象诗》应是陈卓在任三国吴国太史令或后来晋代太史令时的作品。可惜这一抄本中的《玄象诗》已残缺不全，但可以看出其编排方式与P2512《敦煌写本》有异，它在不同的恒星区域中先以“赤”字开头，叙述石氏星官，再用“黑”字开头，叙述甘氏星官，后用“黄”字为首，叙述巫咸氏星官。潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中将这两份敦煌写本中的《玄象诗》进行了校理标点考



订，改正了错别字，并做了简单的注解，使其面目相对完整准确，取得了相当完美的结果。这里我们没有必要将潘鼐考校标点的《玄象诗》再抄录一遍，只准备对其情况、特点及在天文学发展上的意义做一简单的介绍与讨论。

校点《玄象诗》以 P2512《敦煌写本》的编排方式进行叙述。全诗共有四段，分别叙述了石氏中外星官和二十八宿、甘氏中外星官、巫咸氏中外星官、紫微垣附近区域中星官的有关情况。其第一段中对二十八宿星官的叙述除“箕安尾北畔”、“牛东须女位”、“参体有十星，头上戴一觜”等少数具有相对位置情况信息的叙述外，大部分均作为已认识的星官处理。例如开始时一句：“角、亢、氐三宿，行位东西直。”如果对该三宿星官毫无认识仅据此叙述是无法在天空中找到它们的，只有对它们的位置清楚了才能根据“库楼在角南，平星库楼北，南门楼下安，骑官氐南植”的叙述分别对库楼、平星、南门、骑官各星官的位置产生明确的概念。故可以说其是以二十八宿星官作为框架依次对石氏中外星官进行叙述的。由于二十八宿是按照其在天空中位置自西向东排列的，故叙述也具有类似的次序，这种叙述方式与以后出现的三垣二十八宿体系相应的方式在相当程度上是类似的。可以认为它是对恒星位置叙述向后者发展过程中迈出的重要一步，为后者的建立打下了基础。在这一段中叙述了建星、天弁两星官后也谈到了天市垣：“市垣虽两扇，二十二星光”，虽然并未将其与紫微垣附近天区等量齐观另起一段叙述，但对天市垣 22 颗恒星所围成的恒星区域中的星官也做了描述：“其中有帝坐，候星东西厢，前者宗正立，官侧斗平量，宗人、宗在左，宗在候东厢”，这实际上似也表明了天市垣与其他星官的区别，从而为天市垣作为恒星区域的面目出现提供了条件。同样，在该段后面也有：“太微垣十星，二曲八星直，其中五帝坐，各各依本色，屏在帝前安，常陈坐后植，郎位常陈东，星繁遥似织”，对太微垣作为恒星区域出现也有类似的作用。潘鼐认为，后魏张渊的《观象赋》中只有紫宫而无三垣的名称，隋代李播所做《天文大象赋》、唐代李淳风所撰《晋书·天文志》、《隋书·天文志》中也只有紫微垣、天市垣的名称，太微仍不称垣，只有《玄象诗》中始见完整的三垣名称，得到“可证《步天歌》采取三垣分立的格局时，其三垣的名称，于隋、唐之际，自已出现”[①]的结论。然而这与《玄象诗》可能是陈卓在吴或晋任太史令时所做的说法似有矛盾。有一种可能的合理解释：三垣名称的出现可能早于隋代，从现有资料看当不会晚于陈卓撰写《玄象诗》的时代，只是由于不同的天文流派对其早有不同的称呼和处理方法，这一名称并未得到广泛认同；但这并不妨碍一直有人使用它们，且不断造成影响，故产生了出现一垣或两垣名称使用的情况。同样也正是由于不同天文流派的抵制，《玄象诗》才会







① 潘鼐：《中国恒星观测史》。

湮没到近代方被人们发现,《步天歌》的流传才会遇到障碍,以致其产生的年代和作者至今尚未搞清,三垣二十八宿的恒星区分体系确立的年代才会被推延到更晚。当然,具体情况究竟如何,还是难以贸然得出结论的。

《玄象诗》的第二段是从二十八宿之第一宿角宿星官附近的天门、天田、平道星官开始叙述的,其叙述的顺序也是从西向东在天空中绕了一圈,到轸宿南方的器府、青丘星官为止。这与第一段中的情况是类似的。但在其后还补充叙述了明堂、灵台、谒者、公、卿、五侯、太子、从、幸等星官的位置情况。与上段相似,该段仍以二十八宿星官和已经叙述过的星官作为依据叙述了甘氏中外各星官的位置情况。由于甘氏中外官中有些恒星相对较暗,叙述中"车骑骑南隐,将军骑东匿"、"糠飘箕舌前"、"咸池与五潢,并在车中匿"等均有所反映。

第三段中对巫咸氏中外官的叙述也与上两段类似,它是从与角宿星官在东西方向上较为接近的阳门、顿顽星官开始向东依次叙述的,直到叙述轸宿星官下方的军门星官,也大约经过了一周天。它也同样用"隐"、"藏"等字眼来表现某些恒星的亮度较暗。从这三段的情况我们也可以看到用三家星官体系来叙述恒星的相对位置所存在的弊端。要将全天的恒星位置搞清,人们必须分别按三家星官的叙述在天空中各绕一圈以进行识别;而一些位置相近的恒星可能因为分属两家星官而有关叙述相隔较远而难以建立起直接的联系,这对形成恒星相对位置的有关概念是十分不便的。如果在叙述时再将各家星官按中官、外官分别叙述,则需根据叙述在天空中共绕六圈,那就更不方便了,位置相近的一些恒星的有关叙述也就排列得更为混乱,就这意义上说,《玄象诗》还是已有所改进了。在P3589《敦煌写本》中的《玄象诗》将编排方式改为在不同天区中分别叙述三家星官,就又进了一步。但要更为合理地进行叙述,就必须消除"门户之见",取消恒星所具有的三家星官的标签,将它们纳入一个统一的系统中,这就是后来出现的三垣二十八宿体系,我们在下一节中将对其进行一定程度的讨论。



《玄象诗》第四段则单独叙述紫微垣附近区域中的恒星。从叙述中"紫微垣十五,南北两门通,七在宫门右,八在宫门东"可知,这里的紫微垣仍然是以星官的面目出现的;但由"钩陈与北极,俱在紫微宫,辰居四辅内,帝坐钩陈中"又可看出,它与第一段中天市垣、太微垣的有关叙述类似,都是在星官的范围之中还有其他星官存在的情况,表明了其具有向恒星区域概念过渡的趋势,确实可以认为《玄象诗》是处于由三家星官体系向三垣二十八宿体系发展过程中的一个阶段。值得注意的是,在这一段中所叙述的各星官本来是分别属于三家星官的,如果按照前三段的叙述方式,则需将其从西向东在北天中各绕一圈,这显然是很不方便的。这里采取了不管其是哪家星官均混在一起叙述的方式,由于这些星官与以后紫微垣的成员星



大致相同，其叙述也就没有什么本质上的区别了。

综观全文，《玄象诗》语言通俗易懂，叙述流畅清楚，措辞简练形象，绝无华丽词藻的堆砌，也很少引经据典，虽不特别讲究韵律，但不少语句还是有韵的，读起来琅琅上口。其内容是叙述恒星间相对位置情况，而没有任何占星术方面的文字，具有鲜明的科学性，是对天文初学者十分有用的认星通俗歌诀，对天文学知识的普及与传播具有相当重要的意义。其对恒星位置的叙述基本上仍然属于三家星官体系的范畴，但也显示了向三垣二十八宿体系发展的趋势，在我国天文学发展史上应有其一定的地位。

## 第四节　《步天歌》

我国古代恒星的三垣二十八宿体系逐步形成后，最早出现于《步天歌》中。关于《步天歌》我们在第三章第五节中已经有所述及。那里我们主要对其作者是谁的问题进行了一定程度上的讨论，在大部分人均认为《步天歌》是唐代王希明（有人还认为其号为丹元子）所著的情况下，认为南宋郑樵将其作者定为隋代丹元子的说法还是有其根据的，并倾向于这一可能。从上一节中《玄象诗》就已经显露出用三家星官体系叙述恒星位置时所存在的缺陷，并已开始有了改变的趋势的情况看来，三垣二十八宿体系的出现应是不会太远的，隋代产生以该体系为基础的《步天歌》看来也不是不可能的。

### 一、五宫与三垣二十八宿




实际上三垣二十八宿体系也并没有什么特别神秘的地方，它不过是从《史记·天官书》开始将恒星区域划分为五大部分的进一步发展。我们在本章第一节中谈到《史记·天官书》将全天的恒星划分为中宫、东宫、南宫、西宫、北宫五个部分。所谓中宫就是拱极星区，与三垣中的紫微垣大致相当。东宫苍龙就是相当于二十八宿中的东方七宿，南宫朱鸟则相当于南方七宿，西宫白虎为西方七宿，北宫玄武是北方七宿。在叙述的过程中也涉及相应宿附近的某些星官。这在东汉著名天文学家张衡所著《灵宪》中也可看出：

> 众星列布，其以神著，有五列焉，是为三十五名。一居中央，谓之北斗。动变挺占，实司王命。四布于方，为二十八宿。……紫宫为皇极之居，太微为五帝之廷。明堂之房，大角有席，天市有坐。苍龙连蜷于左，白虎猛据于右，朱雀奋翼于前，灵龟圈首于后，黄神轩辕于中。

这里张衡也是将天空按恒星划分为五个区域，其中北斗可与拱极星区相当。后面

的叙述则出现了紫宫、太微、天市等星官的名称，表明它们与一般的星官的地位上存在着差异，具有一定的特殊性。苍龙、白虎、朱雀、灵龟四象则与二十八宿是对应的。《晋书・天文志》、《隋书・天文志》中关于恒星的叙述分为中宫、二十八舍和星官在二十八宿之外者三个部分。其中宫部分虽与后来的紫微垣并不完全相应，二十八舍也与作为恒星区域的二十八宿有相当大的差异，但在具体叙述各星官的位置时都是以紫宫垣（即紫微垣）、北斗和二十八宿作为基准的。这些情况实际上与三垣二十八宿体系的思路都有某种程度的接近。其明显的差别也就是后者明确划分了三垣作为特殊的恒星区域。

所谓垣也就是墙，具有宫墙的含义。人们在观察拱极星时发现在天空中有一些星排列得相当整齐，它们呈两个半圆弧形拱卫着北天极所在的星区，就像地面上围绕着帝王居住的宫廷禁地的围墙，于是人们就称它为垣，用紫宫垣或紫微垣来称呼它，并将其所包围的天区视为天空中最尊贵的地方：

> 北极五星，钩陈六星，皆在紫宫中。北极，北辰最尊者也，其纽星，天之枢也。……第一星主月，太子也。第二星主日，帝王也；亦太乙之坐，谓最赤明者也。……钩陈，后宫也，大帝之正妃也，大帝之常居也。北四星曰女御宫，八十一御妻之象也。钩陈口中一星曰天皇大帝，其神曰耀魄宝，主御群灵，执万神图。抱北极四星曰四辅，所以辅佐北极而出度授政也。大帝上九星曰华盖，所以覆蔽大帝之坐也。盖下九星曰杠，盖之柄也。华盖下五星曰五帝内坐，设叙顺帝所居也①。

看了这段描述，会感到这俨然是人间的帝王统治在天空中的再现，人们自然要对其予以特别的重视。开始时人们只是用垣来称呼排列得像围墙的星官，于是就又有了太微垣、天市垣的星官名称。在太微垣中的恒星区域也被视为非同一般：





> 太微，天子庭也，五帝之坐也，十二诸侯府也。其外蕃，九卿也。……黄帝坐在太微中，含枢纽之神也。天子动得天度，止得地意，从容中道，则太微五帝坐明以光。……四帝星侠黄帝坐，东方苍帝，灵威仰之神也；南方赤帝，赤熛怒之神也；西方白帝，白招矩之神也；北方黑帝，叶光纪之神也。②

可见在人们眼中其所包围的区域同样也是十分尊贵的。天市垣所包围的恒星区域在人们心目中虽然不是那么高贵，但因其也有：

> 帝坐一星在天市中侯星西，天庭也。光而润则天子吉，威令行。侯一星，在帝坐东北，主伺阴阳也。明大，辅臣强，四夷开；侯细微，则国安，亡

---

① 《晋书・天文志上》。
② 《晋书・天文志上》。



则主失位；移则不安。①

与人间的帝王统治有直接的占星术联系。其间还有宦者、宗正、宗人、宗星等与帝王统治机构成员名称类似的星官，而天市垣星官的各星都以各诸侯国的名称命名，这些都表明天市垣依然被看成是非同一般的。也正由于人们对紫微垣、太微垣、天市垣的另眼相看，而人们所观察到的恒星又是在天赤道以北者多于以南者，在对恒星进行叙述时也就将位于天赤道以北的这三垣进行独立的叙述，也即将这三垣星官分别所包围的恒星区域甚至也包括在垣外不远的一些星官作为整体来看待，从而与二十八宿一起将全天区划分为31个区域，形成了三垣二十八宿体系。由以上可见，三垣的出现主要并非出于天文科学本身的需要，而只是受到占星术的深刻影响，具有根深蒂固的历史渊源。这与二十八宿作为恒星区域出现是有所不同的。上面已经说到，《史记・天官书》中以东宫、南宫、西宫、北宫的顺序叙述二十八宿各星官时也涉及一些其他星官的位置，这实际上与将二十八宿视为恒星区域的划分具有相当程度上的类似，认为后者是前者进一步的发展应该说还是比较有道理的，在这一意义上说后者具有相当深远的历史根源是并不过分的。然而需要指出的是，在《史记・天官书》中对二十八宿的叙述并非严格遵循自西向东依次进行的原则，这样对其他星官的叙述也就难以服从这一原则，从而使其与三垣二十八宿体系有相当大的差异，并不能完全混为一谈。

## 二、《步天歌》及其科学意义

根据现有的文献资料可以知道，《步天歌》中对恒星位置的描述是最早按照三垣二十八宿坐标体系进行的。《步天歌》和上节中的《玄象诗》类似，也是一首通俗的认星歌诀。只有一卷。有时以《丹元子步天歌》的名称出现，又有一些版本有一个十分古怪的书名：《鬼料窍》或《天文鬼料窍》，为其增添了一点神秘的色彩。但综观全卷也就是叙述全天恒星位置情况的七言歌辞。由于《步天歌》有许多不同的版本，潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中根据《通志・天文略》、《文献通考》、清康熙年间校订的元至元年间的刻本《玉海》、文津阁本《四库全书》的《灵台秘苑》、北京图书馆藏明刻《乾象图》、浙江省图书馆藏抄本《天文鬼料窍》、上海自然博物馆藏明刊《步天歌》、《丛书集成》本《中西经星同异考》、坊刻本《万法归宗》以及他自己收藏的明永乐写本《天文秘旨备考》共10个版本的《步天歌》，进行了“厘订正讹，考核异同，甄以星象，加以校勘”的工作，得到了一份相对准确的校订《步天歌》，这里也就不将其全文列出了，但不妨将其有关情况予以说明。





① 《晋书・天文志上》。

校订《步天歌》共分为七部分。前四部分是按二十八宿的顺序叙述了相应恒星区域中各星官的位置情况，后三部分则与三垣相对应。第一部分叙述东方七宿，从角宿叙述到箕宿；第二部分则是北方七宿，从斗宿到壁宿；第三部分西方七宿则从奎宿到参宿；第四部分则从井宿开始叙述南方七宿到轸宿为止。叙述中通常都是从相应宿星官的排列形状开始，说到角宿时首先描述角宿星官"南北两星正直悬"，然后才谈到角宿恒星区域中的平道和天田星官："中有平道上天田，总是黑星两相连。"其后又说到进贤星官："别有一乌名进贤。"据研究，这里的"黑"、"乌"并非是指星的亮度较暗，而是表明它们属于甘氏星官。我们在上节中已经在述及三家星官时指出人们用赤、黑、黄三种颜色来在星图上分别表示属于石氏、甘氏和巫咸氏的星官，以示区别。在《宋书·天文志一》中也有元嘉"十七年，又作小浑天，径二尺二寸，周六尺六寸，以分为一度，安二十八宿中外官，以白、黑珠及黄三色为三家星"的记述，只是小浑天上石氏星官用白色珠表示而略有不同。同样在述及亢宿时有"四星恰似变弓状"，叙述了亢宿星官的形状后接着就描写了大角、折威等星官："大角一星直上明，折威七子亢下横，……折威下左顿顽星，两个斜安黄色精，……"这里的黄色就表示顿顽是巫咸氏星官了。类似的情况在《步天歌》中还可找出一些。据潘鼐统计，以黑色表示甘氏星官的有38座，占全部甘氏星官118座的32.2%；用黄色表示巫咸氏星官则有24座，占全部巫咸氏42座星官的57.1%。其他星官则未用颜色表示，这表明《步天歌》中三垣二十八宿体系是从三家星官脱胎而出的，其身上就不可避免地保存有三家星官的烙印，但它已经逐渐在摆脱三家星官的传统束缚，使三家星官之间的界限已经开始模糊了。《步天歌》对各星官除涉及星官的成员星数外还对星官的排列形状和与其他星官相对位置进行了描述，这样人们就可以据此在天空中找到它。有的恒星还述及其亮度，上面提及的"大角一星直上明"就是一例，后面谈到奎宿星区时也有："天策、天溷与外屏，一十五星皆不明"，井宿星区中则有："邱下一狼光蓬茸。"对老人星则对其出现的规律也做了描述："有个老人南极中，春秋出入寿无穷。"这些对识别星象是有一定帮助的。由于叙述总是从二十八宿星官开始叙述，为叙述方便总是将相近的星官放在一起介绍，然后由近及远，这样在一宿的星区范围内各星官的叙述顺序并不严格恪守由西向东的原则。但由于二十八宿的排列顺序是严格地从西向东的，从总体来看，叙述可视为沿着天赤道上相应坐标（即宿度或入宿度，对明末以后来说是赤道经度）的量度方向进行的。这与近代天文学中星表所采取的排列顺序是在相当程度上类似的。《玄象诗》中虽然三家星官的叙述均分别采用了类似的方式，但因其是周而复始地沿这方向叙述了三周天，这还是具有明显的差异的。由于二十八宿在天赤道上所对应的范围广狭不同，各星官所包含的星数及所占据的范围也存在差异，用二十八宿作为恒



星区域的划分其所包含的星官数也各不相同，故《步天歌》中各宿星区的叙述内容也有多寡。女宿、井宿的叙述分别有20句、21句，而心、箕、柳三宿却都只有3句，其所叙述的星官也分别只有两三个。通常一个星官只叙述一两句，但对一些星数较多、排列形状较为复杂的星官则要用六七句来描述。翼宿星官（见图5—1）就是一个典型的例子："二十二星太难识，上五下五横着行，中心六个恰似张，更有六星在何许，三三相连张畔附，必若不能分处所，更请向前看记取，……"它先 将其上、下部基本上沿东西方向排列的各五颗恒星做了介绍，再叙述中间六颗排列形状与张宿星官相似的恒星，最后说在其中间六星与上、下各五星之间分别有三颗恒星，用这种分解叙述的方法就将二十二颗恒星的排列情况叙述得十分清楚，这反映了当时人们对恒星位置的情况观察得确是十分仔细，《步天歌》的作者为清晰地描述恒星排列的形状也确实是动了一番脑筋的。

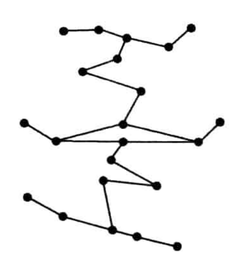
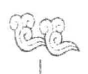


图5—1　翼宿星官

《步天歌》的后三部分对三垣的叙述则依上、中、下的次序进行。将太微垣、紫微垣、天市垣分别称为上垣、中垣、下垣，看来也是遵照从西向东的次序。以紫微垣作为观察的基准，太微垣在其西南方，天市垣在其东南方。由于北天极是在紫微垣所包围的星区中，紫微垣在天赤道方向上所占据的范围应为一周天，确定其在东西方向上的位置实际上是根据紫微垣星官。它由15颗恒星组成两个被称为蕃的半圆弧，其西蕃有7颗星，东蕃则为8颗，两蕃端点处的恒星之间被称为门，其中之一叫作南天门，也叫南门，将其相对于北天极的方向视为南来观察太微垣、天市垣也就有了上述的印象。《步天歌》中又将这三垣分别称为上元、中元、下元，这可能是三垣的别称。由于"元"有为首的、第一的等含义，它与人们将三垣视为尊贵的星区的概念是符合的，而且"元"、"垣"同音，故这一可能性是相当大的。至于对各垣中恒星相对位置的叙述则与前四部分中类似，太微垣、天市垣分别是从太微星官、天市星官开始叙述，而紫微垣则从北极五星说起，这应是由于它们在天空中较易辨认的缘故。在校勘的过程中，潘鼐发现《步天歌》早期的传本中将三垣均称为"宫"；紫微垣星官是东、西蕃同时对称叙述的，以后的版本才改变为分开叙述；某些星名也随版本时代的不同而有异。这些都表明《步天歌》在流传的过程中也有一些变化，

这难免有传抄、翻刻之中的将错就错，但也可能为了适应不同时期天文工作者的习惯或为叙述方便所做的改变。

总的来看，与《玄象诗》类似，《步天歌》也是一首通俗的认星歌词。在有的版本上，在叙述一个星区的恒星情况之前还绘有该星区中各星官的位置分布图，根据其后的叙述，按图索骥，就可以对这些恒星的位置情况一目了然了。对此，南宋著名学者郑樵在其所撰《通志·天文略》中给予了很好的评价：

> 天文籍图不籍书，然书经百传不复讹谬，纵有讹谬，易为考正。图一再传，便成颠错，一错愈错，不复稽寻，所以信图难得，故学者不复识星。臣向尝尽求其书，不得其象，又尽求其图，不得其信。一日得《步天歌》而诵之，时素秋无月，清天如水，长诵一句，凝目一星，不三数夜，一天星斗尽在胸中矣。

认为通过图文对照既能得到形象的概念，又能避免星图在流传中容易出现的讹错，从而能成为认识星空的理想"自学教材"。人们按照叙述中各星区的排列次序，对照星图，就能够在天空中找到相应的星官。随着人们的视线在星空中一个个星官间的"漫步"，也就对全天的恒星分布情况有了明确的了解。由此可见，《步天歌》具有相当强的实用性。它歌词通俗简练，叙述清晰明了，语言形象生动，句末押韵，易于记忆和朗读，除个别星官有涉及占星术的文字(如"近上三星号为酒，宴享大酺五星守"、"北门西外接三台，与垣相对无兵灾"等)外，绝大多数星官皆为对恒星客观的描述，故郑樵称赞它："《步天歌》句中有图，言下见象，或约或丰，无余无失，又不言休祥，是深知天者。"[①]也正因为它具有如此众多的优点，使其能得到专业天文工作者的重视而流传下来，成为历代初习天文的人们观天认星的必读著作，它对我国古代在恒星观测方面的某些习惯做法能连贯地流传下来是具有重要的意义的。从宋代开始，它被视为有关恒星位置的经典著作，在相关的天文著作中被引用或转载，为天文学的发展发挥着作用。



《步天歌》之重要还在于其所应用的恒星分区体系相对来说是比较先进的。我们前面已经说到，三垣二十八宿的恒星体系在叙述上确比三家星官体系方便合理，这只是问题的一个方面，更为重要的是这一体系与我国古代独有的赤道天文坐标系紧密联系在一起，具有一定的科学意义。按照二十八宿在东西方向上所占据的范围来划分星区，这与赤道天文坐标系中"入"某宿的概念是基本相符的，而紫微垣包括了北天极附近的恒星又突出了北天极的作用，这样看来其以北天极和天赤道为基准的特征就是十分明显的。在此以前，人们只是将紫微垣、二十八宿作为一般

① 《通志·天文略》。



的星官看待，未与其他星官建立起直接的联系，未像《步天歌》那样建立起粗糙的赤道天文坐标系统。就这一意义上说，后者确是有所前进的。当然，在赤道天文坐标系中只需知道天体的去极度与入宿度就完全可以确定了，似无必要建立紫微垣星区，但由于观察在北天极附近的天体位置时如其东西方向上有一不大的误差，它在天赤道上的投影就会有相当大的偏离，从而有时会出现该天体所在宿次的错误，在粗糙的天文观测中采用在近极的紫微垣星区中表示其位置是一种避免此类错误的方法。至于太微垣、天市垣星区的建立则在天文学上很难找到相应的存在理由。很可能那是为了满足占星术方面的需要。毋庸讳言，三垣二十八宿恒星体系的建立在相当大的程度上还是迎合了占星术方面的需要。在上一章中我们早就提起过，中国古代存在一种将天空中恒星区域与地面上行政区域对应起来的做法，这就是所谓分野。在《史记·天官书》中就有“二十八舍主十二州，斗秉兼之，所从来久矣。”“角、亢、氐，兖州。房、心，豫州。尾、箕，幽州。斗，江、湖。牵牛、婺女，扬州。虚、危，青州。营室至东壁，并州。奎、娄、胃，徐州。昴、毕，冀州。觜觿、参，益州。东井、舆鬼，雍州。柳、七星、张，三河。翼、轸，荆州”的叙述，将二十八宿与十二个州郡进行了对应。在《晋书·天文志上》中又在“州郡躔次”一节中列出了二十八宿与各州郡间对应关系的细节。而在《晋书·天文志上》中又将紫宫垣、太微垣、天市垣星官所包围的区域与帝王统治进行了对应，故三垣、二十八宿这 31 个恒星区域在占星术中都是有其特殊意义的，以其来划分恒星区域以便观察奇异天象的出现是对地面上哪一行政区域还是对当时的帝王统治显示某种吉凶的征兆就是顺理成章的事情了。也正是由于历代的统治者对其统治的稳定与否十分注意，占星术也就受到特别的重视，三垣二十八宿的恒星分区体系也就得以延续下去，一直使用到清代。尽管如此，我们不能因此而忽视其所表现出的进步及在中国古代天文学发展过程中的作用。清代时还出现过一种影响不大的新编《步天歌》，从一个侧面显示了《步天歌》影响的深远。



《步天歌》中涉及的星数，南宋郑樵在《通志·天文略》所引《步天歌》末的注文中有一个统计数字：

> 魏石申以赤点纪星，共一百三十八座，计八百十星。商巫咸以黄点纪星，共四十四座，计一百四十四星。齐甘德以黑点纪星，共一百一十八座，计五百十一星。三家都纪三百座，计一千四百六十五星。此旧书所纪，传写之讹，数目参差，无所考正。

这可能是后人给《步天歌》所作的注解，而不是原来就有的。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中将其与 P2512《敦煌写本》中所列三家星官统计数字进行了比较，发现除石氏星官的座数有较大出入外其他都是基本相符的，并认为石氏星宫中多出的 17

座可能是将某些星官拆开成两座或更多星官所致，看来是有些道理的，但他所做的试拆复原工作是否能完全反映真实情况还是存在一定的疑问的。有可能某些星官是确如所云而产生的，但也不能排除设立新的星官的可能性，例如在尾宿附近的神宫一星和紫微垣“后门东边大赞府”均是《步天歌》中特有的恒星，它们未尝不可以被看作一座星官。潘先生将北斗七星与辅被分为八座星官的做法看来也难以被人接受。但具体情况如何，也只能有待于进一步研究了。然而从以上的情况我们可以看出，《步天歌》是在三家星官的基础上建立起的一种新的体制，它们之间确实具有相当紧密的渊源关系。

## 第五节　《经天该》

### 一、《经天该》的作者

《经天该》又称《经天诀》、《西步天歌》，也简称《西歌》。它是西方先进的天文学知识在我国传播以后的产物，在清代早期人们对其作者就已搞不清楚，它应是明代晚期的作品。关于其作者现有多种说法。有人认为是明代后期来华的意大利人、天主教传教士利玛窦(Matteo Ricci)。清代康熙二十八年(1689)梅文鼐所作的《中西经星同异考》中就有“……其歌相传为利玛窦所撰，谓之《经天该》，与古歌《步天歌》不同”、“《经天该》作于利氏初入之时”等记述。吴省兰《艺海珠尘》、英国传教士伟烈亚力(A. Wylie)的《中国文学札记》和一些中外学者的著作均持此说。也有人认为是利玛窦与李之藻合作撰著的。李之藻是明代后期与徐光启同时代的天文学家、数学家，于万历二十九年(1601)在北京与利玛窦相识，向其学习西方先进的天文学知识，极力推崇西洋历法，曾与利玛窦合作译述了三本天文、算学方面的著作。有人认为《经天该》也是如此。有人则认为是薄子珏撰作的。梅文鼐《中西经星同异考》中有一注释讲到：“按：《经天该》，一作《经天诀》，薄子珏撰。”稍后，邵懿辰的《四库简明目录标注》中则也认为它是薄珏(即薄子珏)所撰。王重民在《经天该跋》中也明确倾向于这一观点：“余以为归之薄珏，较利、徐为尤宜。”他认为薄子珏曾学习过一些天文知识，又著有《浑天仪图说》，与西方传教士也有交往的机会，故他撰写《经天该》的可能性是较大的。梅文鼎在为《中西经星同异考》所写的序言中则对《经天该》的作者未加肯定：“今所传《经天该》之图与其歌，皆因西象所列，而变从中历之星座星名，即见界图之分形。其出似在《历书》未成之前。图星以圆空，去中法犹近，然与《步天歌》仍有不同者。或以西星合古图而有疑似，不敢辄定，遂并收之，而有增附之星。或以古星求西图而弗得其处，不能强合，遂芟去之，而成古有今无



之星。要之，皆徐、李诸公译西星而酌为之，非西传之旧。”这里的《历书》是指《崇祯历书》，徐指徐光启，李指李之藻。将《经天该》的作者视为像徐、李这样对西方天文学知识比较熟悉的一类人，看来这是在无法弄清实际情况时的一种聪明做法。潘鼐的《中国恒星观测史》中还提到，传教士惠泽霖（H. Vernaeren）在其《中国公教典籍丛考》[①]中载有《〈经天该〉之研究》一文，对这一问题做了详密的考证。指出利玛窦曾绘制过西洋星图，李之藻按照《步天歌》中的叙述在该图上添注了中国的星名。在北京天主教藏书中又发现有在西方出品的纸张上抄有《步天歌》，并找到过1603年巴耶尔绘制的星图，星图上用红线标出了紫微垣，个别恒星附近还有中国星名相应的字样。由利玛窦的日记中又可知李之藻曾翻译过载有《托勒密星图》的由克拉维斯神甫所著的《天球论》全文，并据此曾制作过一座天体仪。惠泽霖据此认为李之藻在该天体仪上相应的恒星处写上了《步天歌》中的中国星官名称，从而完成了在西方的星图上标示了中国古代星名的工作，这就产生了《经天该》。近代著名学者方豪曾指出这种说法比较可靠。它实际上是认为李之藻是在利玛窦工作的基础上创作了《经天该》，这与以上除认为是薄子珏撰写外的几种说法并无太多的矛盾。但由于考证中仍然缺乏直接的证据，李之藻尽管在一定程度上完成了中西恒星名称的对应工作，也只能说是为《经天该》的产生准备了条件，并不能最后肯定《经天该》就是出于他的手笔。这一问题看来只能存疑待究了。

## 二、《经天该》的特点

潘鼐的《中国恒星观测史》中以梅文鼐《中西经星同异考》中所收录的“西歌”为基础，以清代吴省兰所辑《艺海珠尘》、徐朝俊《高厚蒙求》及《古今图书集成·乾象典》中的相应文献作为佐证和参考对《经天该》进行了较为完备的辑校，据此就可以对有关情况做一些分析。总的来看，《经天该》与《步天歌》有相当多的相似之处。它们所描述的恒星位置都是按照三垣二十八宿体系分区排列的，只是前者是以紫微垣、太微垣、天市垣、二十八宿的顺序进行叙述，后者则先叙述二十八宿，后来才谈到三垣（也有的版本是先三垣、后二十八宿的）。它们都是以七字为一句的认星歌词，其语言均很通俗易懂，描述皆形象生动、清楚明了。它们所用的恒星名称均是与中国古代星官相对应的。它们所提供的信息除各星官的相对位置外还都涉及星官所包含的星数、排列形状、某些恒星的亮度情况等，其叙述的情况也有一定程度的相似。但两者之间还是有相当大的区别的。





《经天该》虽然使用的是中国古代的星名，其分区也采取了三垣二十八宿的体

---

① *Notes bibliographiques concernant la littérature chrétienne de Chine*，1947年，法文版。

系，但由于其产生在西学东渐的时代，其内容也就包含有西方天文学知识的影响。第四章中我们曾经提到过，中国古代虽然早就发现了岁差现象，但对于其在恒星位置数据上产生的影响是缺乏认识的。但在西方天文学中这是早就掌握了的。所以，《经天该》中二十八宿的恒星分区情况也就与《步天歌》中有相当大的差别。前者是根据当时二十八宿在东西方向上所占据的范围划分的，各区域中的星官当然也就与后者有某些差异。这样，在《步天歌》中属于心宿星区的积卒星官在《经天该》中房宿星区的叙述中才能找到；在《经天该》中爟星在井宿星区，天狗、天社在柳宿星区，但在《步天歌》中都在鬼宿星区中叙述它们。这样的例子在将两者进行比较时还可以找到不少，表明《经天该》并非在《步天歌》基础上简单地重复或发挥，而是具有其鲜明的时代特征。当然，其中有些差异也可能是将中国古代星名与西方星图上的星象进行对应时所产生的差错，这在仅根据恒星位置的文字记述的大概情况来判别西方星图上的星象时也是在所难免的。通过对比，我们还可以看到，《步天歌》中有些星官，在《经天该》中并没有叙述，而后者却多处出现了一些无名之星。在紫微垣区中有"太子上有无名星"、"天厨五星长方形，二巨三小近小弼，后有一颗无能名"等记述；角宿区有："中间平道黑星二，左右九点无名星"；亢宿区有："亢宿四星两端黑，左边无名附两粒"；在氐宿区也指出："氐宿四明侧斗形，无名五点杂来侵"、"下左复与贯索亲，索外无名多累累"。如此等等叙述均表明，《经天该》中所涉及的恒星已不仅局限于中国古代原先被命名的恒星了，从而出现了增星。在《崇祯历书·恒星历表》和清代的恒星观测中都有这一类增星，可以说《经天该》开了这一风气之先，突破了古代原有恒星的传统界限，是具有一定的意义的。梅文鼎在为《中西经星同异考》所写的序言中对《经天该》中恒星出现古有今无或增附之星的情况有这样的讨论："今所传《经天该》之图与其歌，皆因西象所列，而变从中历之星座星名，即见界图之分形。……或以西星合古图而有疑似，不敢辄定，遂并收之，而有增附之星。或以古星求西图而弗得其处，不能强合，遂芟去之，而成古有今无之星。要之，皆徐、李诸公译西星而酌为之，非西传之旧。"看来是有一定的道理的。不过增附之星的出现更可能是西方星图中画上了，但中国古代并未对其命名而造成的，梅文鼎的说法似有勉强之感。

《经天该》中对恒星亮度的描述比《步天歌》要详尽细致得多。其描述恒星的亮度用了最明、次明、甚明、朗朗、小明、明、略暗、荧、暗、微、隐见、微逊明、最巨、巨、细、小、隐、光更清、稍明、犹明、微茫可见、晦、朦胧、光更烈、不甚明、杳、芒甚小、光颇皎等字眼。虽然其中有些意义是相仿的，也很难据其得到恒星亮度的数量化概念，但它可能正是西方天文学中的星等概念在文字上的反映。在西方星图上可能已按照恒星的亮度用不同大小的星象表示其星等，在对其进行文字叙述时就会根



据周围各星象的亮度情况对其给予不同的描述。这表明中国古代对恒星亮度的认识已在向西方天文学中的星等概念靠拢，从而逐步趋向科学合理。这些叙述对认识星空、辨别恒星具有重要的参考价值。

《经天该》中完全没有占星术方面的文字，而都是关于恒星相对位置的描述。在紫微垣星区中还增加了判别北天极位置的有关天文知识的叙述："垣高先论极出地，北向须寻不动处，欲知真极本无星，列宿皆旋斯独异。"对于近南极的恒星，在叙述中则增加了马腹3星、火鸟10星、水委3星和马尾3星，这是我国古代文献资料中最早出现的近南天极的恒星。这些都使《经天该》确比《步天歌》增加了一定的科学意义。《经天该》中似还讲到恒星的颜色："平星两白不甚平"、"女宿三微一稍白"，另有多处也有"稍白"字样。但更多的是用"黑"、"乌"等字眼来叙述某些恒星。由于这些叙述与《宋书·天文志》中"以白黑珠及黄三色为三家星"的记述基本上相符，这里的颜色是与三家星宫中石氏、甘氏星官有直接关系呢，还是确实反映了恒星的颜色的实际情况？看来还有待于进一步分析研究。应该指出的是，《经天该》并不一定就反映了在其产生以前中国古代恒星名称的实际情况。潘鼐在《中国恒星观测史》中就指出，由于未根据中国古代恒星测量数据进行校核，仅凭文字资料在西方星图上查对，使比照的结果势必在相当程度上偏离了原有的传统，尤其对于南天接近恒隐圈处因地平高度低、可见时间短、亮度又较暗的恒星，在证认时存在的困难很大，问题也较多。这样看来，《经天该》并不能完全忠实反映中国古代原有的星官命名系统，从而使这一传统做法在这里出现了断层。然而，它与《崇祯历书》中的恒星表一起形成的星官命名系统后来在清代得到了遵循，这也就是在全盘采用西方恒星命名法以前我国天文界一直采用的。从这一意义上说，《经天该》仍具有承上启下的开创作用，可给予一定的积极评价。




最后，我们还要对《经天该》的名称做一点讨论。有人认为它本来应为《经天诀》，这就与《步天歌》的名称基本上对应，和其内容也比较符合，后来只是因"诀"、"该"字形相近，在传抄中也就成了现在这样的名称，看来是相当有道理的。然而"该"与"赅"有时是通用的，后者又作完备、包括一切解，《经天该》中又包括有相当数量的无名小星，将其理解为在天空中经过并将所有恒星概括进来的意思似也无不可。当然这里的包括一切是相对的，要将所有恒星都叙述到即使在现代的条件下也是难以做到的。梅文鼐在其《中西经星同异考》中除收有《经天该》这一《西歌》外还录有他亲自撰写的描述南极附近各星官的《补歌》，这才使《经天该》所叙述到的恒星更趋完备。

# 第六章 中国古代星表

所谓星表是用来记载有关恒星的各种数据的一种表册，其内容可以涉及恒星的位置、亮度（即星等）、色指数、光谱型、自行、视向速度等。它们反映了人们对恒星进行观测所取得的成果，是人们在认识宇宙过程中的一种重要的资料积累。关于其他特殊天体（如彗星、行星、变星、星云、星团、星系、双星、射电源、星系团甚至人造天体等）的有关资料都可以单独编制成表册，在广义上它们也常被称为星表，在近现代天文学各研究领域中分别发挥着作用。这些广义的星表是天文学发展到一定阶段的产物，在中国古代当然是不可能出现的。中国古代的星表绝大部分是记载恒星位置数据的，其历史可以上溯到公元前 4 世纪的战国时代。我们在第三章中谈到的《石氏星经》就是一部产生于那一时代的星表。

## 第一节 《石氏星经》——世界上最古老的星表

### 一、《石氏星经》的观测年代研究

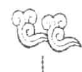
在第三章第二节中我们曾经讲到战国时魏国天文学家石申夫曾撰《天文》8 卷，其中有一部分内容可能就是后来流传的《石氏星经》。唐代瞿昙悉达编撰的《开元占经》中以“石氏曰”的字样为标识列出了 121 颗恒星（现存本中仅 115 颗）的位置数据，当是《石氏星经》的核心内容，但它们是否仍能反映当初的原貌看来还是有一定的问题的。国内外的一些学者曾就此进行过各种探讨，得到了一些不同的结论。然而不管这些数据是在什么时候观测得到的，人们仍然公认《石氏星经》是世界上最早的星表。在西方，古希腊天文学家喜帕恰斯曾在公元前 134 年前后编制过一份包括有 1 022 颗（一说为 850 颗）恒星的位置和星等资料的星表，在后来托勒密所著《大综合论》（又译作《天文学大成》）中将其保存了下来，其恒星数目虽然比较多，但观测年代却晚了约 200 年。



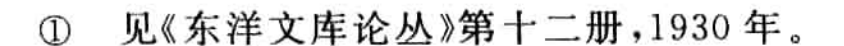
《开元占经》中所收录的《石氏星经》数据分别是恒星的入宿度（对二十八宿距星而言则是该宿的宿度值）、去极度和黄道内外度（个别恒星有缺漏）。其中除二十八宿宿度值与《淮南子·天文训》、《汉书·律历志》中一样只给出了整数的古度值外，其余均以“少”、“半”、“太”字样精确到 1/4 古度。个别去极度、黄道内外度数据



还附有“强”、“弱”字样，似可精确到$\frac{1}{12}$古度。它们为研究该星表的有关情况提供了最基本的资料。我们在第五章第三节谈到P2512《敦煌写本》时知道其第二部分的二十八宿次位经中也给出了二十八宿的宿度和其距星的去极度数据。它们与《开元占经》中的数据小有差异，通过对照和比较并且参照其他有关文献资料，就有可能纠正各数据中的错误。例如《开元占经》中氐宿宿度为16度，《敦煌写本》和其他资料均为15度，而且将各宿宿度值累加起来前者也确多了1古度，显然前者是错的。类似地也可通过去极度数据上有十一宿存在差异的情况，参照有关资料确定其更为可靠的数据。《开元占经》的卷一百〇六“星图一，二十八宿古今同异”中也列出了二十八宿的相应数据，它们与上述数据也有个别差异，这同样可以用来对这些数据进行校核。其后卷一百〇七、一百〇八分别是“星图二，石氏中官星座古今同异”、“星图三，石氏外官古今同异”，但因未列出具体数据，故对相应的恒星位置数据就不能用其来校核了。《石氏星经》的恒星位置数据还见于两本现存日本的唐代天文著作的抄本残卷中。其中之一是唐代麟德元年(664)由李凤撰写的《天文要录》，在其残卷中保存有“魏石申曰”的十三宿宿度及其距星去极度、黄道内外度数据。另一本是萨守真在麟德三年(666)所著的《天地瑞祥志》，残本中可以看到石氏内官(即中官)和外官共46颗恒星的入宿度、去极度、黄道内外度数据。它们在对《石氏星经》数据的校核工作中是十分有用的。潘鼐《中国恒星观测史》将现存本《石氏星经》中所缺的6颗星的数据补充了4颗，就是参照了《天地瑞祥志》来完成的，在数据的校订工作中也曾据其有关内容作为参考。经过核定的《石氏星经》恒星位置数据对研究其观测年代具有重要的作用，其中尤以去极度数据最适宜从事这一研究。

近代以来，中外学者对《石氏星经》中恒星数据的观测年代进行了研究，大体上得到三种类型的结论。一种是认为它们确是观测于石申夫所处的时代，这一说法以日本天文史家新城新藏为代表。他在《东洋天文学史研究》(日文版，1928年)一书的《甘石之星经》一文中最早分析了《石氏星经》的恒星去极度数据，最后得到这些数据对应的观测年代约在公元前300年前后的结论。但持这一观点的人不是很多。第二种结论是认为这些数据中部分是在石申夫所生活的年代观测的。其代表是日本天文史家上田穰。他在《石氏星经之研究》[①]一文中对相应的去极度数据做了详细的计算和分析研究，并采用图解的方法，得到其中一部分数据系公元前360年左右观测的，这与石申夫生活的年代是相符的，但其余数据则对应于较晚的时代，它们都是在公元200年前后观测得到的。这一观点得到较多人的认同。在英



① 见《东洋文库论丛》第十二册，1930年。

国科技史专家李约瑟所著的《中国科学技术史》中对此做了介绍。潘鼐所著《中国恒星观测史》也进行了类似的分析研究，得到的结论是《石氏星经》中的恒星数据大致可分为两群，其平均观测年代分别对应于公元前400年和公元160年前后。第三类结论则认为《石氏星经》中的恒星位置数据都是在较晚的年代观测的。钱宝琮先生早在1937年著《甘石星经源流考》[①]一文，明确指出由于中国古代恒星观测的精度很低，在用岁差公式推算恒星位置时总会有一些恒星的数据与战国中期时的位置出现相符的情况，这是由数据本身有较大误差的情况所决定的，不能认为它们就是在战国时代观测得到的。钱先生还将《续汉书·律历志中》所引述的"《石氏星经》曰：'黄道规牵牛初直斗二十度，去极二十五度。'于赤道，斗二十一度也。"中的"牵牛初"，解释为冬至点的代名词，并据此推算出《石氏星经》所对应的年代比《尚书纬·考灵曜》要晚，故其恒星位置数据不是战国时代观测所得。日本科技史专家薮内清多次研究了《石氏星经》，他认为所有恒星位置数据应是在同一年代观测的，并根据上引《续汉书·律历志中》的叙述认为冬至时太阳位于斗宿二十一度，由此推算出《石氏星经》对应的年代为公元前65年左右。日本学者前山保胜于1977年发表了一篇名为《最古老的中国星表——〈石氏星经〉》[②]的论文，用统计分析的方法对《石氏星经》中恒星数据的平均偏离随时间变化的规律进行了研究，得到其观测年代约在公元前70年前后的结论，并指出各去极度的误差几乎都是1度左右，表明观测时的北天极高出其实际位置约1度。由以上情况我们可以看到，由于对古代恒星观测所能达到的精度情况有不同的认识，对有关数据采用的推算方法不同，也就对《石氏星经》的观测年代有不同的结论。

从《石氏星经》中恒星位置数据中有"强"、"弱"等表示其精度可达1/12古度的字样，战国时代的天文观测水平能否达到如此高的精度看来是值得怀疑的。也正是由于中国古代天文观测的精度是相对较低的，用它们来推算相应的观测年代也就会出现较大的弥散度。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中所做的推算在删除了过早和过晚的某些观测年代后，各星的观测年代之差异仍有千年以上。在这种情况下，人们总能按各年代的接近程度分组，得到各组的平均观测年代，从而造成它们观测于不同年代的假象。如果它们确实是观测于不同的年代，那就应该是每个年代观测的恒星数均达到一定的数量，且各星分别推算出的对应观测年代的弥散度应远远小于各组之间的偏离，但在推算中出现的情况并不能同时满足这两个要求。虽然有可能是因为资料的缺失，由后人通过观测将其补全，从而使各观测数据对应



---

① 见《浙江大学季刊》第1期，1937年。

② "The oldest star catalogue of China, Shih Shens Hsing Ching"，载ΠΡΙΣΜΑΤΑ, Festschrift für Willy Harther，英文版。



于不同的年代，但考虑到补测的工作量并不大，人们更有可能对数据并未缺失的恒星也进行复测校验，这就会发现其与原有数据之间的差异进而对全部恒星都进行观测，使所有的恒星位置数据均对应于同一时代。薮内清早就提出的这一观点是十分有道理的。但他仅根据《续汉书·律历志中》里引述《石氏星经》的内容这一孤证来推断其观测年代显然是不可靠的，而且对这段话的解释看来也是有问题的。钱宝琮的研究与其也是类似的。

钱宝琮在《甘石星经源流考》中认为，《续汉书·律历志中》里所引《石氏星经》中的叙述所谈到的"牵牛初"是冬至点的代名词，"黄道规牵牛初直斗二十度"，就是说在黄道上冬至点在斗二十度处，据此推算出冬至点在天赤道上的相应位置是斗 $21\frac{63}{100}$古度。冬至点在这一位置时所对应的时代比《尚书纬·考灵曜》中冬至点位置所对应的要晚，从而得到《石氏星经》出现的时代较晚的结论。虽然这一结论对现存《石氏星经》资料来说可能是不错的，但把牵牛初视为冬至点的代名词的说法却是颇有问题的。有人认为上面所引《石氏星经》中的这句话并无"牵牛初"即冬至点的含义。郭盛炽发表的《〈石氏星经〉观测年代初探》[①]一文中就是这样认为的。他指出既然将"牵牛初直斗二十度"解释为冬至点在斗二十度，也就表明人们已认识到冬至点不在牵牛初，这也就不会用牵牛初作为冬至点的代名词了。在现存的古籍中也没有出现过类似的例证。《石氏星经》中的这句话从字面上理解似应为在黄道上观察，牵牛初与斗 20 度相衔接。《续汉书·律历志中》引述《尚书纬·考灵曜》中的内容时有"斗二十二度，无余分，冬至在牵牛所起"的叙述。《开元占经》中也有(南斗六星)"洪范传古二十二度"的记述。1977 年 7 月在安徽阜阳汝阴侯墓中出土的天文占盘上也标有"斗二十二度"字样。这些都表明斗宿的赤道宿度值曾有取为 22 古度的做法。通过计算将其换算成黄道宿度恰为 20 古度左右，这就与上述的理解是一致的。如果这一理解正确的话，钱宝琮的说法则就难以成立了。由于中国古代似无明确的分点、至点的专门概念，古籍中叙述相应情况时总是以当时太阳在恒星之间的位置来作为标识的，这也就很容易产生恒星之间的某一特定位置是某一分点或至点的代名词的印象。但由于中国古代早期对岁差现象的认识中并无分、至点在恒星之间有位移的概念，况且在东汉时人们甚至还没有发现有岁差现象，故牵牛初只能是表示恒星之间的一个特定的位置，而不可能作为冬至点的代名词，因为当时人们没有必要也不可能形成冬至点的有关专门概念。这样看来，钱宝琮的说法似乎是存在问题的。而且，要研究《石氏星经》相应的观测年代仅凭《续汉书·律历志中》的这一条孤证显然也是不够的。应该说钱宝琮的这一研究是





① 见《自然科学史研究》，1994 年第 1 期。

存在相当大的缺陷的。

在郭盛炽的文章中主要的内容还是对《石氏星经》的观测年代进行探讨。其出发点还是认为各数据都是对应于同一时代的，且满足现代误差理论，即各数据的误差的平方和为最小时的北天极位置就是可能性最大者。其具体推算是对《石氏星经》中的恒星去极度数据，以球面天文学的公式推导出相应的误差方程式用最小二乘法进行求解，得到当时北天极在恒星之间的位置坐标(相对于历元为 1950.0 时的赤道天文坐标系而言)，并由此而运用岁差公式推求出该位置所对应的观测年代。这一方法实际上是将恒星的去极度数据视为只具有偶然误差的观测值来进行数据处理，对可能存在的系统误差未做进一步的排除，虽然在方法上力求客观合理，但结果并未能达到完美的程度。在用三种不同的方法(原理基本相同)处理以后得到的五组结果差异较大，除第五组的原始数据取之于恒星的黄道内外度值误差较大而只能作为参考外，其他四组结果所对应的观测年代分别是分布在公元前 200 年至公元前 100 年的范围内。由于求得的北天极位置有 1～2 古度的均方误差，在这样的精度水平的情况下这四组结果还是可以视为相对符合的。但这终究还是十分初步的，看来，对这一问题还有待于进一步的探讨。值得一提的是该文中得到的北天极位置附近约 5°的范围内没有被古人叙述过的恒星，也无亮于 6 等的恒星，它似乎表明当时的观测并未利用北极星作为北天极的标志点，人们已能相对准确地确定北天极在恒星之间的位置了，这反映了汉初时天文观测的水平。

最近国内还有一篇讨论《石氏星经》观测年代的文章观点颇为新颖。它是由孙小淳撰写的《汉代石氏星官研究》[①]，其主要内容是对《石氏星经》中的恒星进行了证认，并对其位置数据的观测年代进行了探讨。为了进行恒星的证认工作，作者根据《耶鲁大学亮星表》中的数据做了岁差和自行改正后绘制了历元为公元前 100 年时的星图，并在该星图的背景上标志上石氏星官的距星的位置，从而可以方便而准确地完成证认。根据《开元占经》中在给出某一恒星的去极度数据时均标有“先至”字样，如“角二星，距南星先至，去极九十一度”等，作者认为当时对恒星去极度的观测是采用中天观测的方法。也就是说，在该恒星位于南北子午线上时用一仪器测量它和北天极之间的角距离。该仪器有一位于子午方向的规环，环上有与北天极相应的标志和有关的角度分划，在观测到一颗恒星后就可根据其在环上的位置直接读出其去极度数据来。但这一方法中仪器上北天极的相应标志与实际如有一偏差就会给测量带来一常数项的系统误差。而由于岁差现象的影响使北天极位置发生了变化也会给去极度数据带来一形式为 $A\cos\alpha$ 的系统误差。这里的 $\alpha$ 是指该恒

① 见《自然科学史研究》，1994 年，第 2 期。



星在某一假设历元时的赤经坐标值，$A$ 为与实际观测历元有关的系数。作者通过对去极度数据误差进行傅里叶分析确定这两项系统误差的数值变化情况，得到常数项系统误差约为－0.86 度左右，形式为 $A\cos\alpha$ 的系统误差在公元前 78 年时最小，并确定它就是《石氏星经》数据的观测年代。文章得出的结论与前面谈到的日本前山保胜的结果惊人地一致，而公元前 78 年前后又正是汉代著名天文学家鲜于妄人组织 22 位天文学家用天文观测验证太初历的时代，从而与扬雄《法言》中“或人问浑天于雄，雄曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿寿昌象之，……”的记述也是符合的，但它是否确实与实际情况符合，看来还难以贸然地得出结论。

从以上情况我们可以看到，在《开元占经》中所保留的一组《石氏星经》观测数据不大可能是战国时代石申夫观测得到的，不过在《开元占经》中还保存有比这组数据更古老的二十八宿宿度数据。我们在前面也已经讲到《尚书纬・考灵曜》中和西汉早期的天文占盘上都保存了其一些数据。这似乎表明在上述《石氏星经》观测数据产生之前可能确实存在过一组战国时期的观测数据。由于《开元占经》和西汉天文占盘上这些古宿度值各有缺漏，留存的数据也小有差异，它们恰可互相补充和校勘。潘鼐《中国恒星观测史》中从事了这一工作，并对距星的取定做了研究。他在校勘时将天文占盘上的危六度、井二十六度根据字形和每七宿的宿度值合计值校勘为危九度、井二十九度，可能是存在问题的。因为天文占盘上不但记有古宿度值，而且这些文字的分布是按照宿度值的大小确定其位置的，从危、井两宿在占盘上所占的范围来看，是与占盘上的宿度值一致的。如果该占盘是可以用来与天空中二十八宿距星相对应的话，保持其原值是恰当的。看来两组数据的小有差异是由于它们被使用的年代或地域不同而造成的，反映了不同的天文学派之间或在使用过程中产生的变化，无须强行使它们取得完全的一致。由于古宿度数据与后来的相应值有较大的差异，这些差异绝非岁差现象所能解释的，这只能是其所选取的距星互有不同而造成的。由于一个宿度数据涉及两颗恒星的位置，利用这些数据就可以研究二十八宿距星选取情况的变化。在《中国大百科全书・天文卷》(中国大百科全书出版社，1980 年版)中“三垣二十八宿”条目(王健民撰写)对这一问题最早做了研究和阐述。潘鼐在《中国恒星观测史》中也做了类似的研究，并归纳出两点结论：①二十八颗距星中有十一宿相同，古宿度数据所对应的另十七宿不同的距星中大部分(十三宿)选取了较亮的恒星；②古宿度数据的误差较后来的相应值大。他认为这组古宿度值当是二十八宿体制建立以后用较简陋的仪器观测亮星所得，可能在春秋战国时期的古历中得到应用，并完整地保存到汉代前期。西汉制订太初历时得到较为精确的二十八宿宿度值后就被取而代之了。在《史记・律书》中谈到八方之风时叙述了一套二十八舍的名称，其中有七个名称与二十八宿宿名有





异，有人认为前者引用了甘氏的二十八宿，距星也就完全不同于后者。潘先生将古宿度数据与其进行了比较，发现这组数据与甘氏二十八宿系统也不符合。关于利用古宿度数据以对距星选取的情况进行研究，郭盛炽在其《历代二十八宿距星考》[①]一文中也做了一定的探讨，这里就不做详细介绍了。

## 二、《甘氏星经》与巫咸星官

我们在第三章中曾经谈到过《甘氏星经》，它应该与《石氏星经》是差不多同时代的。东汉许慎编撰《说文解字》女部的“媊”字下注有：“《甘氏星经》曰：‘太白上公妻曰女媊’。”由于《开元占经》中卷六十九、卷七十对甘氏中外星官的叙述均没有具体的位置数据，就这一点而言，它并不能被称之为星表，但也不应将其绝对化。我们从第三章中已经知道，我国古代曾流传过一部《甘石星经》，关于其情况我们下面还会讲到，这里只想指出其中就有似为甘氏星官位置的两条记述：“天乳星在氐北，……十五度，十二中，西南星去北辰九十六度。”“策一星，在王良前，……西入壁半度，去北辰四十二度。”这两条记述看来都不是十分可靠，因为作为甘氏星官的天乳、策都只有一颗星，其标准星也就是其本身，不应再用“西南星”、“西”字样来表述，从数据看，它们与氐宿、王良星官的石氏数据却很接近，其所取标准星也完全符合，这很可能是古代早期文献中竹简位置错排，后人整理时又未能发现其错误而照抄所造成的，我们不应将其视为甘氏星官的位置数据。然而，有人早就注意到在《开元占经》中的卷六十一“北方七宿占”记有“石氏曰：南斗六星，二十六度四分度之一；甘氏同”，表明在唐代时仍然保存有《甘氏星经》中对二十八宿的某些宿度值。人们通常还认为中国古代不同的天文学派不可能对天空中恒星有明确的观测分工，他们可能都对可见的恒星进行了观测，只是后人在整理恒星的位置数据时采取了以石氏星官为基础的原则，也就是说只要石氏学派观测了的恒星，不管其他学派是否也观测了都归属于石氏星官。这样在《开元占经》中所列石氏星官位置数据有可能并非石氏一家的贡献，即使只是其一家的数据也有可能是以舍弃甘氏等学派的数据为代价的。值得一提的是在日本留存的唐代《天文要录》残抄本中依然有两条与甘氏有关的数据得以保留，它们是：“房占第十四”中的“齐甘德曰：‘……极七十九度太，黄道外’”和“舆鬼占第三十二”中的“齐甘德曰：‘舆鬼五星，去极六十九度，在黄道内太。’”由于数据太少，很难对数据观测的年代进行探讨。其研究价值虽然不是很大，但这两条数据清楚地表明了《甘氏星经》曾作为星表在中国历史上出现过是具有极大的可能的。当然，要做出最后的肯定结论，看来尚为时过早。

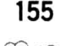


---

① 见《上海天文台年刊》，1990年。



我们在第四章中也提到过一部署名为“汉甘公、石申著”的《甘石星经》，并指出人们大多认为它可能是唐代人增删窜改后的托名之作。人们通常所持的理由不外乎以下这样几个方面。首先，署名就存在问题，甘公、石申夫都是战国时人。《史记·天官书》中就明确记有“在齐，甘公”、“魏，石申(夫)”的字样。他们分别建立了不同的天文学派，合作著书的可能性是极小的，故这显然是一本托名之作。说作者是汉代人则更是不对的。其次，书中的星占文字中混杂有晋代甚至隋唐以后才出现的州名，战国时代或汉代的人们不可能有这样的预见。第三，《续汉书·天文志》的注释中曾引《星经》凡数百言，现存本中均无，且后者语言浅显，与前者已无相同之处，更不用说与更早的版本相比了。第四，它又名《通占大象历星经》，大象历是南北朝时北周的马显所编撰的历法，在静帝大象元年(579)颁布施行的。有人认为《星经》也应是北周时的著作，后人因其有“星经”之名称，误以为是甘公、石申夫所著。看来这些理由还是相当充分的，除了某些误传外人们并不将《甘石星经》视为战国时期的作品。然而在这部著作中除了对某些恒星的位置所做的文字叙述外，还记述了 44 颗恒星的位置数据，在对这些数据进行分析研究后人们几乎一致肯定其中保存有相当一部分早期的观测记录。日本科技史专家能田忠亮在《甘石星经考》[①]一文中对现存本中 39 条数据做了推算，得到其中 29 条的观测年代为公元前 360 年，6 条对应于公元 200 年，4 条则较晚，当为后世所做的增添或窜改。情况是否真是如此，看来还是需要进一步研究才能得出结论的。将《甘石星经》中的数据与《开元占经》中的石氏星官数据相比，前者只有钩钤、太一两星与北辰的角距标有“半”的字样外，其余数据均只精确到度，其观测的读数精度显然逊于后者(我们已经知道，后者以少、半、太、强、弱的字样将数据表示到 1/12 度)，如果不是天文观测技术出现了退步，这似乎表明前者的观测年代应该早于后者。另外在叙述中也有相当多的前后错乱或数据的张冠李戴之处(如上面讲到《甘氏星经》时已经说到天乳、策星就是这样)，这可以用竹简位置的错排来解释，似乎表明它们不应是隋唐时期的作品，将其定为对应于西汉或更早时看来是比较适宜的。需要指出，《甘石星经》中谈及恒星在南北方向上的位置数据时绝大部分是使用“去(北)辰”的标志，只有个别恒星用了“去极”字样，对北斗中的衡星则列出了“去极十五度，去辰十一度”两个不同的数据，这是否意味着当时的观测有分别以北天极和北极星作为去极度数据的基准的两种情况，尚有待于进一步研究。由于《甘石星经》中恒星去极度数据的精度相对较低，用它们来确定数据的观测年代精度估计也会相应地差一些，从而也就增加了一定的不确定性，这可能也是人们很少对其数据进行分析研究的原因之一。


① 见《东方学报》，京都第一号，1931 年。

在石氏、甘氏的星表均已讨论后，摆在我们面前的问题是三家星官中还有一家即巫咸星官是否也有星表存在过呢？巫咸相传是商代的大臣，《史记正义》中说："巫咸，殷贤臣也，本吴人，冢在苏州常熟海隅山上。"他精通天文占星术，故司马迁在《史记·天官书》中谈到"昔之传天数者"时也列出了："殷商，巫咸。"然而，在早期的史籍如《史记》、《汉书》中虽然提到了他，但并未谈及他的天文著作，只是《续汉书·天文志》的注文才引用了8处以"巫咸曰"、"巫咸占曰"为标识的叙述，而这一注文则是南北朝时梁代刘昭所添加，可见署名巫咸的天文星占著作的出现可能是相当晚的，人们有理由认为所谓巫咸星官并非商代巫咸所观测的恒星，而只是后人的伪托。由于《开元占经》中关于巫咸星官的记述中没有恒星的位置数据，也就不能提供它们是什么时代观测得到的信息，给研究带来困难。潘鼐《中国恒星观测史》中认为巫咸星官就是三国时吴国和后来晋代的太史令陈卓所托名。其理由是在汉、晋以前没有《巫咸星经》，最早的记述是《晋书·天文志》中"太史令陈卓总甘、石、巫咸三家所著星图"的记述，作《汉书·天文志》的马续比陈卓早，作《续汉书·天文志》的司马彪则与陈卓同时代，他们都未能看到巫咸星官的有关叙述，故在其著作中均未能引用，故陈卓托名的可能性最大。由于石氏、甘氏的星官尚不能覆盖整个星空，在若干区域留下了一些空白，这就需要对其加以填补；而《开元占经》中石氏星官的66%有甘氏占文，甘氏星官中却只有9%记述了石氏占文，他认为甘氏星官是石氏星官的补充，既有此先例，陈卓也就可能从事类似的工作。由于石氏、甘氏星官与战国时期颇有名气的天文学家建立起联系，并已在当时成为经典，如以陈卓本人的名义对其补充则难以引起人们的重视而得到流行，故必须假托于古人。巫咸以其既不是上古的传说人物，又无史据可查而被选中，他与陈卓又同属吴人，陈卓以其作为假托似最为恰当。在日本现存的《天文要录》残抄本中还保存有巫咸的二十八宿去极度数据，可惜不全，只留下了十宿。潘鼐据此推算了其观测年代。据其在《中国恒星观测史》一书中对推算结果的介绍可知，在去除了相应的观测年代偏离过大的四宿后，各宿观测年代的平均值约为公元255年，恰好与陈卓在吴国担任太史令的时期相当，潘鼐认为"这恐怕不一定是巧合，似可证明巫咸之名确为陈卓所假托"。他还指出，观测数据的离散度较大，可能是陈卓使用的观测仪器较为简陋之故，这与当时偏安离乱的江东不无关系。看来巫咸星官的产生确系后人的伪托，这是没有太多的疑问的，潘鼐认为是陈卓所为，看来也不无可能，但我们认为也不能十分肯定。从现有资料的情况来看，我们并不能断然排斥在甘氏、石氏天文学派存在的同时也有一个影响较为逊色的巫咸天文学派的可能性。这一学派的创立可能远晚于巫咸所处的时代，但比陈卓的时代可能早得多。因为《天文要录》中所保留的并非石氏、甘氏星官所缺的数据，而恰为二十八宿距星的去极度、黄道

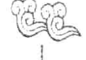


内外度数据，这表明巫咸星官并非纯粹作为甘、石氏星官的补充，而是自成系统的。它不只与甘氏星官可能重复，也观测包括二十八宿在内的其他星官，只是在整理三家星官时采取了先石氏、次甘氏、后巫咸的顺序原则，也就是说先叙述石氏星官，然后依次用甘氏、巫咸星官来补充未叙述到的星官，这也就造成了后两家星官只是对已有星官的补充的假象。也正是巫咸学派的影响不大，在晋以前的史籍上均无引述，而且这中间还可能存在撰史者搜集资料是否齐全和天文学派之间的门户之见等问题，看来这也并非不正常，不能据此而绝对地否认巫咸星官在陈卓以前早就存在着。从《天文要录》中所保存的巫咸二十八宿距星去极度数据以少、半、太表示到1/4度的情况来看，其精度应不会太低，在推算中出现离散度较大的情况可能是另有原因，这有待于进一步研究，也不能将其归咎于当时的仪器简陋。由以上情况可以看到，中国历史上是否存在过《巫咸星表》目前还很难说，巫咸星官到底产生于什么时代也还是一个未知数，通常人们倾向于它产生的时代较晚，虽不能排斥是陈卓假托古人的可能性，但也不能做绝对的肯定。

## 第二节　唐代开元年间的恒星观测数据

### 一、恒星观测数据的概析

在《旧唐书·天文志上》、《新唐书·天文志一》中均列出了唐代著名的天文学家一行在开元年间所做恒星观测得到的若干位置数据。其中只有二十八宿列出了宿度和距星的去极度数据，其他恒星除北斗七星有入宿度数据外只有个别恒星的赤道内外度或黄道内外度数据，另外也列出了这些恒星的位置与以前观测的差异。严格地说，由于这些位置数据较少，叙述中又着重于当时的观测与以前的结果之异同，故它与经典的星表还是有一段距离的。只是因为这些数据可能只是一行在与梁令瓒合作制成黄道游仪后所做一系列恒星位置测量的一部分结果，可以视为星表的局部而列入本章的讨论。为了叙述的方便，我们在表6－1中归纳了在《旧唐书》、《新唐书》的天文志中所罗列的唐开元年间的恒星观测数据和有关的资料数据。表中数字除星数外均以中国古代的度为单位。带括号的数字是原文缺漏据其他资料所补或在不同资料中的不同数据。从二十八宿的宿度数据可以看出，唐代观测得到的数据与《汉书·律历志》、《开元占经》中的石氏数据是大同小异的，而后两种资料则是基本相同的，我们在上节中已经说过，有人认为《开元占经》中的石氏数据可能观测于西汉初期，看来是相当可能的。唐代开元年间与西汉初期相距有800多年，宿度值是应有不少差异的，但却未能在数据上反映出这一变化。郭盛炽

在《北宋恒星观测精度刍议》[①]一文中认为中国古代曾经存在过宿度的采用值与实测值不完全符合的情况，并以唐代开元年间的观测结果作为例证。在《新唐书·天文志一》中记述有："毕，赤道十六度，黄道亦十六度。觜觿，赤道二度，黄道三度。……今测毕十七度半，觜觿半度。"《旧唐书·天文志上》中也有类似的记述。作者认为该记述的最后一句话实际上就是唐代对毕、觜两宿宿度值的实测记录。通过计算得到对应于开元十一年(723)时毕、觜两宿的宿度值分别是 17°.35 和 0°.48，与古代的十七度半、半度非常接近。他认为这不会是偶然的巧合，这表明唐代恒星观测的精度已经达到了相当高的水平。但在一行主持编撰的大衍历中却列出的是"毕十七，觜觿一"[②]，与实测值有半度的误差。看来作者的看法还是有一定的道理的。虽然大衍历中的数据也很可能是对宿度值取整数和为保证觜宿的存在所造成的，但通过计算可以知道在表 6－1 中所列唐代所测宿度值中有 18 宿的误差超过了半古度，其中有 6 宿达到 1 古度左右，这就不是以将宿度值取整数所能解释的。由于宿度数据实际上是相邻两宿距星之间的赤经差，而在相当长的时期内岁差现象对位置相距不远的恒星之赤经的影响是相仿的，这样宿度数据的变化也就是不显著的，中国古代将二十八宿宿度值取为常数值就是毫不奇怪的。但随着时间的推移，这一变化积累起来也就日益显著了，这就需要及时做出改变。唐代开元年间的观测显然发现了这种变化，故其二十八宿宿度值与汉代的小有改变，但囿于原有的传统的影响，大衍历中的数据只对变化特别显著的做了改变，其他仍保持原值，这就使它们与实测值有了较大的偏离。至于实测值除了上述毕、觜两宿外都未能留存下来，这是十分可惜的。

二十八宿距星的去极度数据情况则完全不同。由于岁差现象引起的北天极在恒星之间的移动直接改变了恒星的去极度数据，在数百年中这一变化十分显著，故《旧唐书》、《新唐书》的天文志中均列出了它们与"旧经"之间的不同，这在表 6－1 中我们也可以清楚地看到。相对来说，《开元占经》中的石氏数据与旧测似更为接近，可以认为它们是同源的。唐代所测数据看来应为当时的实测数据。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中对这组数据进行了分析，经与计算得到的相应于开元十二年(724)的各距星赤纬值比较，求得了这些数据的误差。从所列出的情况看，其中有 16 颗距星的数据误差大于 1 度，大于 3 度的竟有 4 颗，最大者达到 5 度多。这一误差比《开元占经》中石氏数据中二十八宿距星去极度数据的误差还要大，这是难以想象的。在天文学经过数百年的发展，又利用了一行、梁令瓒制作的先进天文观测仪器——黄道游仪进行观测，不可能得到如此差的结果。不过从数据的误差大于





① 见《天文学报》，1989 年，第 2 期。

② 《新唐书·历志四上》。



**表 6—1　唐开元年间恒星观测数据及相关资料**

（1. 二十八宿宿度及去极度数据）

| 宿 | 星 | 宿度 | | | 去极度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 名 | 数 | 汉书·律历志 | 开元占经 | 唐测 | 旧测 | 开元占经 | 唐测 |
| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| 角 | 2 | 12 | 12 | 12 | 91 | 91 | 93.5 |
| 亢 | 4 | 9 | 9 | 9 | 89 | 80 | 91.5 |
| 氐 | 4 | 15 | 16(15) | 16(15) | 94 | 94 | 98 |
| 房 | 4 | 5 | 5 | 5 | 108 | 108 | 110.5 |
| 心 | 3 | 5 | 5 | 5 | 108 | 108.5 | 111(110) |
| 尾 | 9 | 18 | 18 | 18 | 120(141) | 134(124) | 124 |
| 箕 | 4 | 11 | 11 | 11 | 118 | 118 | 120 |
| 斗 | 6 | 26 | $26\frac{1}{4}$ | 26 | 116 | 116 | 119 |
| 牛 | 6 | 8 | 8 | 8 | 106 | 110 | 104 |
| 女 | 4 | 12 | 12 | 12 | 100 | 106 | 101 |
| 虚 | 2 | 10 | 10 | 10 | 104 | 104 | 101 |
| 危 | 3 | 17 | 17 | 17 | 97 | 99 | 97 |
| 室 | 2 | 16 | 16 | 16 | 85 | 85 | 83 |
| 壁 | 2 | 9 | 9 | 9 | 86 | 86 | 84 |
| 奎 | 16 | 16 | 16 | 16 | 76(70) | 70 | 73 |
| 娄 | 3 | 12 | 12 | 13(12) | 80 | 80 | 77 |
| 胃 | 3 | 14 | 14 | 14 | (74) | 82(72) | (72) |
| 昴 | 7 | 11 | 11 | 11 | 74 | 74 | 72 |
| 毕 | 8 | 16 | 16 | 17 | 78 | 78 | 76 |
| 觜 | 3 | 2 | 2(1) | 3(1) | 84 | 84 | 82 |
| 参 | 10 | 9 | 9(10) | (10) | 94 | 94.5 | 92(93) |
| 井 | 8 | 33 | 33 | 33 | 70 | 70 | 68 |
| 鬼 | 5 | 4 | 4 | (3) | 68 | 68 | 68 |
| 柳 | 8 | 15 | 15 | 15 | 77(79) | 77 | 80.5 |
| 星 | 7 | 7 | 7 | 10(7) | 91(93) | 90 | 93.5 |
| 张 | 6 | 18 | 18 | 18 | 97 | 97 | 100 |
| 翼 | 22 | 18 | 18 | 18 | 97 | 99 | 103 |
| 轸 | 4 | 17 | 17 | 17 | 98 | 99 | 100 |




(2. 其他数据)

| 星名 | 入宿度 | | 星名 | 黄道内外度 | | 星名 | 赤道内外度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 旧测 | 唐测 | | 旧测 | 唐测 | | 旧测 | 唐测 |
| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| 虚北星 | 虚 | 女 9 | 天关 | 南 4 | 0 | 角距星 | 0 | 南 2.5 |
| 危北星 | 危 | 虚 6.5 | 建星 | 北 0.5 | 北 4.5 | 霹雳 | 外 4 | 四星赤道内<br>一星赤道外 |
| 北斗第一星 | 星 1 | 张 13 | 云雨 | 黄道外 | 内 7 | 土公吏 | 赤道外 | 内 6 |
| 北斗第二星 | 张 2 | 张 12.5 | 天江 | 黄道外 | 0 | 雷电 | 外 5 | 内 2 |
| 北斗第三星 | 翼 2 | 翼 13 | 虚梁 | 黄道外 | 内 4 | 天囷 | 赤道外 | 0 |
| 北斗第四星 | 翼 8 | 翼 17.75 | 外屏 | 外 3 | 0 | | | |
| 北斗第五星 | 轸 8 | 轸 10.5 | 长垣 | 0 | 北 5 | | | |
| 北斗第六星 | 角 7 | 角 4.25 | 天椁<br>天高<br>狗国 | 黄道北<br>黄道外<br>黄道外 | 0<br>0<br>0 | | | |
| 北斗第七星 | 亢 4 | 角 12.25 | 罗堰 | 0 | 黄道北 | | | |

1 度的除一值为正外均为负值的情况看来，这组数据可能存在较大的系统误差，具体情况如何，尚有待于人们进一步研究。

对二十八宿以外的恒星，《旧唐书》、《新唐书》的天文志中也列出了若干所测位置与“旧经”不同的数据，它们当是这种差异最为突出者。表 6－1 的第二部分列出了这些数据。其中有少数恒星的“旧测”或“唐测”只列出了恒星与黄道或天赤道的大致位置情况，这只是为了对比而保留下来的。在记录中还有一些恒星“旧测”、“唐测”均只有大致的位置情况而无具体数据，因其难以给出具体的位置概念，表中就未将其列出。表中数据分别可归纳为入宿度、黄道内外度、赤道内外度三类，共只有 25 条。其中角距星的赤道内外度数据还与前面角宿距星的去极度数据意义上等同，故实际只有 24 条记录。除北斗七星的入宿度数据均以少、半、太精确到 1/4度外，其余只精确到半度。与“旧测”比较，“唐测”值均有较大的差异，通常相差数度，有的入宿度数据的差异竟达 10 度以上，这就不是恒星的自行所能解释的。其理由我们在第三章中已经述及，这里就不再重复了。



## 二、关于一行发现恒星自行的再讨论

有人认为清代著名数学家、天文学家梅文鼎在其所著《历学疑问二》“论恒星东



移有据”一文中的一段话就是指唐代一行观测到了恒星的自行现象。梅文鼎说：

> 近两至处，恒星之差在经度，故可言东移者，亦可言岁西迁。近二分处，恒星之差竟在纬度，故惟星实东移，始得有差。若只两至西移，诸星经纬不应有变也。

由于梅文鼎在这篇文章中曾将岁差理解为“恒星不动而黄道西移”，又提到唐代一行恒星观测与以前所得结果的不同，上述引文似有用岁差不能解释这种差异之意，故人们认为梅文鼎的叙述有唐代一行观测到恒星自行现象的意味。后来有一些人也沿袭了这一看法。看来这是没有根据的。席泽宗在其《僧一行观测恒星位置的工作》①一文中对此做了较为深入的分析研究。文中席泽宗将唐代的“旧测”对应于“唐测”以前 600 年即公元 123 年的东汉时期，他用岁差公式进行了计算，认为一行观测到的二十八宿距星去极度数据的变化基本上可以用岁差现象来解释。其他数据与以前的差异有些也能用岁差现象解释，不能用它解释者则更不能用恒星的自行来解释。恒星黄纬（应为黄道内外度）有显著变化的即属后者，席先生认为唯一可能的解释是中国古代对恒星黄纬测量不准确所致，看来是有一定道理的。当然也不能排斥唐代观测的恒星与“旧测”并不对应或者是观测记录有误的可能性。席泽宗当时就明确指出：“僧一行并没有发现自行，以后在天文学史的著作里，不必再提此事。”给出了结论性的意见。其后，潘大钑也发表过一篇题为《关于唐代一行未发现恒星自行的再论证》②的论文，文中根据《新唐书·天文志一》中引述李淳风对浑仪从西汉以来的发展情况的概述中有“盖浑仪无黄道久矣”之语，认为唐代所说的“旧测”可能是张衡对浑天仪做了改进以后于公元 123 年前后测定的，这与席泽宗文中的观点是一致的。他用较为精确的岁差公式重新做了计算，虽然其计算结果与席泽宗的文章中的有一定的差异，但基本情况是类似的，其结论也基本上相同。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中也对唐代一行对恒星位置观测的结果进行过详尽的讨论。他明确指出，认为梅文鼎持一行发现恒星自行的观点只是一种误解。梅文鼎在《论恒星东移有据》一文中的所有叙述都是对岁差现象进行解释。他阐述了东西方天文学对岁差的不同理解，指出其实质上是相同的。上面我们所引的一段话不过是说恒星的东移不但使其在赤经值上有所增加，还在两分点附近造成了恒星的赤纬值产生了变化，将岁差现象理解为只是两至点的西移是不够的，应视为全部恒星的向东移动：“如此则恒星之东移信矣。”③通篇并未涉及恒星自行的字句。后人做了错误的理解，就得到梅文鼎持这一观点的看法，并




① 见《天文学报》，1956 年，第 2 期。

② 见《上海天文台年刊》，1980 年。

③ 梅文鼎：《论恒星东移有据》。

将这一观点继承了下来。这当然是不妥的。潘鼐也对有关数据进行了计算，其结果虽与前两篇文章中所列有较大的差异，但所得到的结论却是基本一致的，即认为这些数据上的差异均不能解释为一行发现了恒星的自行。从以上的研究我们可以看到一行所观测到的恒星位置的变化肯定不可能是恒星自行的长期积累，而是由岁差现象或原因不明的错误所造成的结果。不过当时人们并没有认识到岁差现象对恒星位置数据造成的影响，而将其归因于恒星自身的移动，故在《元史・历志一》中仍有“然列舍相距度数，历代所测不同，非微有动移，则前人所测或有未密”的看法，这种认为恒星可能“微有动移”的看法当然比恒星位置终古不变的认识有所进步。如果可以将这一看法视为古人原始的恒星自行概念的话，则可以将其产生的年代上溯到唐代开元年间。但这终究与发现恒星的自行还是有本质上的区别的，不能混为一谈。

唐代开元年间的恒星观测是在正史中最早有明确记述且由官方天文机构进行的，它在我国古代恒星观测史上是具有相当重要的意义的。它所得到的观测数据反映了恒星位置坐标值随时代推移的变化，从而开创了经常性的恒星观测的先河，此后，制定星表作为恒星位置数据变化情况的反映就成为历代天文工作者最基础的工作，中国古代的星表工作从此出现了前所未有的发展，取得了相应的成果。在这种意义上来说，唐代开元年间恒星观测数据留存至今的虽然数量有限，还包含有某些错误（如黄道内外度数据差至数度），但其对中国古代星表工作的贡献却是十分重大的，可以视为该项工作的一个里程碑。

## 第三节　北宋《景祐星表》





我们在第三章中已经讲过，北宋时期出现了恒星观测的黄金时代，并有相当一部分恒星位置数据流传了下来，其中最为完整的就是《景祐星表》和下一节中将会谈到的《皇祐星表》。它们以较多的恒星数据、较高的精度展现了北宋恒星观测工作的崭新面貌。

### 一、《景祐星表》的资料留存

北宋景祐年间所进行的恒星观测情况在史籍中介绍得很少。在《宋史・天文志》中述及二十八宿的有关数据时均用“景祐测验”的字样列出了相应宿的宿度值、距星的去极度及赤道内外度数据。例如在叙述角宿的数据时先列出了东汉永元年间黄道铜仪上相应的宿度值，又列出了唐开元年间的有关数据，然后就是“景祐测验，角二星十二度，距南星去极九十七度，在赤道外六度，与乾象新书合，今从新书



为正。”其他宿也有类似的记述，只是有的宿次未列赤道内外度数据，有的宿次的宿度值或距星方位、去极度与前面数据相同时未再行列出。只有胃宿缺少距星去极度数据，幸好这并非是景祐年间恒星观测数据的唯一来源，还是可以通过其他文献予以校补的。在南宋王应麟编撰的《玉海》中收辑了《景祐乾象新书》里“御制序”的一段话：“……乃命太子洗马兼司天春官正权同判监杨惟德、春官正王立、翰林天文李自正、何湛等于资善堂将历代诸家天文占书并自春秋五代已来史书，采摭撰集。又遣内侍任承亮、邓保信、皇甫继和、周惟德等总其工程，庀事数月，书成。……然去极入度，躔次有伦，故为周天星座去极入宿度一卷。”后又谈到：“初命惟德等以周天星宿度分及占测之术，纂而为书，至是上之。”“《天文录》并诸家占书所载石申、甘德、巫咸三家星座共二百八十三座，总一千四百六十四星。年代寖远，宿次舛误，验天文则去极不同，赜星书则次舍靡定，臣等将司天监铜浑仪测验周天星次，较订前书，具列于左。”将《景祐乾象新书》的编撰过程、内容和景祐年间恒星观测的缘由叙述得相当清楚。我们可以知道在这本书中不但收集有历代的天文史料和有关数据，还包括了景祐年间恒星观测的实测资料，如能保存至今当是重要的古代天文文献，但可惜早已亡失。但值得庆幸的是该书中有相当多的资料在南宋李季编撰的《乾象通鉴》中得以保存。《玉海》中谈到《乾象通鉴》时记述：“初，河间府进士李季集天文诸书，号《乾象通鉴》，建炎四年六月癸酉命婺州给扎上之，绍兴元年三月甲寅诏与旧书参用。”该书得到官方的认可，其资料应是比较可靠的。该书的“序”中谈到：“据经集诸集之善，考古备已验之变，复以景祐新海上秘法参列而次第之，著为成书，凡一百卷。”可见景祐年间的观测等情况是其中的重要内容。潘鼐在《中国恒星观测史》中指出，由于其观测数据中所涉及的石氏、甘氏和巫咸三家星官及紫微垣的星座数及星数均与《玉海》叙述的景祐“测验周天星次”的情况完全相同，它们应是景祐年间的观测数据无疑。潘鼐还根据上海图书馆所藏明代蓝格抄本《乾象通鉴》与北京图书馆藏上海广雅书局精抄本进行汇总校正，并参考了清初的旧抄本，共得到 341 颗恒星的位置数据，从而最大限度地恢复了《景祐星表》的原貌，他根据中国以作者名命名星表的传统又称其为《杨惟德星表》。

该星表列出星官名称的有 283 座，包含有 1 462 颗恒星。叙述到的恒星虽有 341 颗，但其中有 5 颗恒星未给出有关的位置数据，故实际只有 336 颗恒星的坐标值被列出了，而且这些坐标值还有个别恒星有残缺，然而不管怎样，它比前面谈到的唐代开元年间观测的恒星位置数据要完整多了，其恒星坐标值也比《开元占经》中所列石氏星官位置数据多了近 2 倍。可以认为它是一部相对完备的恒星位置星表。各恒星的排列顺序基本上是按照三家星官的体系，首先是石氏星官的二十八宿计 28 座星官 164 颗恒星，以后依次是石氏中官 54 座 318 颗恒星、石氏外官 38




座271颗恒星、甘氏中官59座201星、甘氏外官39座209星、巫咸中官9座31星、巫咸外官20座95星，最后是紫微垣的三家星官即石氏的12座星官54星、甘氏的20座星官101星、巫咸的4座星官18星。这样的编排方式与陈卓时的三家星官已有不同，它将紫微垣与其他星官分开，排列在最后，这与《步天歌》中将三垣单独排列在其他星官后面(有的版本在前面)的做法有一定程度的相似，这似可表明《景祐星表》虽然按三家星官编排，但已受到《步天歌》三垣二十八宿体系的某些影响而有了少许改变。在《中国恒星观测史》一书中，潘鼐对《景祐星表》和《敦煌写本》中陈卓三家星官做了统计，发现两者星官座数也有差异，前者为石氏132座、甘氏118座、巫咸33座，而后者则分别为121座、118座和44座。虽然星官总数都是283座，但星官的组成上已有一定程度的不同。在恒星数目上也存在类似的情况。按照《玉海》中对《景祐乾象新书》的摘录可知景祐观测的星数为1 464颗，这与《敦煌写本》中所记三家星经的总星数是相同的，但各家星中外星官的星数小计则是互有出入的。这表明中国历史上出现的三家星官体系可能本来就存在不同的版本，也可能这只是由于历史上的各种原因使三家星官在流传过程中出现了一些不大的变化，但总体的格局基本上得到保持。

## 二、《景祐星表》位置数据初析

《景祐星表》中各星的位置数据分别是入宿度(对二十八宿距星而言是相应的宿度)、去极度和赤道内外度三种。由于赤道内外度值实际上相当于去极度值的余角，它们所给出的信息应是相同的，可以用来互相印证校订。三种数据的绝大部分均只精确到度，但也有相当数量的数据精确到半度。赤道内外度与去极度数据互相转换时所用到的1/4圆周所对应的角度也取91度整数。这些都表明这些数据的精度并不太高。潘鼐曾对这些数据进行过精度分析，在其所著《中国恒星观测史》一书中仅列出了对二十八宿距星及天市垣五星等16颗恒星的位置数据的分析结果。他通过计算得到二十八宿宿度数据的平均偏差为0°.63，二十八宿距星去极度数据的则为1°.63；另16星的入宿度数据平均偏离为2°.25，去极度数据的则为1°.21。由此可见其误差还是相当大的。潘鼐认为景祐恒星观测精度较低的原因可能有二，其一是所用的观测仪器比较简单，他引用《宋史·天文志一》中沈括《浑仪议》的叙述“至道中，初铸浑仪于司天监，多因斛兰、晁崇之法，虽不甚精缛，而颇为简易”为根据，指出当时的浑仪制作不够精密，存在系统误差。其二是浑仪在安装时仪器上与北天极相应的标志并未校准，他以二十八宿距星去极度数据的误差分布半周天均为正值另半周天则为负值或较小的事实为证，认为仪器的北极方向并非指向天空中的北天极方向，而是指向与其偏离1°.37的纽星。从景祐恒星观



测数据的读数精度可达到1度，有的还达半度的情况来看，其数据的偶然误差不应大于半度。因为偶然误差的分布是具随机性的，对同一目标的两次观测不太可能具有相同的偶然误差，这样就会造成观测结果上的差异，如果景祐恒星观测的偶然误差大于半度，则两次观测就会出现1度以上的差异，从而无法确定恒星位置数据的正确数值。景祐恒星观测数据的偏离有些达到2°～3°，比半度要大了许多，潘鼐认为这些观测存在明显的系统误差是很有道理的。但他认为浑仪上北天极的相应方向有可能指向纽星的看法却是难以苟同的。因为浑仪是一种大型的天文仪器，在安置完毕后其与北天极相应的标志也就相对于地面基本上固定了，很难使其随着绕北天极做周日视运动的纽星进行不断的调整，也就是说，从现在所掌握的北宋浑仪的结构情况来看，人们不可能将其北天极方向指向纽星，除非景祐恒星观测所使用的是小型的非固定的天文仪器才有可能出现这种情况。根据潘鼐的分析，景祐恒星观测的二十八宿距星去极度数据的偏离超过3度的有四宿，最大者近5度，这也不是将浑仪上北天极方向指向纽星所能解释的。看来造成数据有较大偏离的真实原因是值得认真探索的。

值得注意的是，在《宋史・天文志》中叙述恒星位置时频繁引用了《乾象新书》中的叙述。也是在《宋史・天文志》中，不但在二十八宿有关位置数据中列出了“景祐测验”的相应值，而且有一些不指明出处的数据也出自景祐恒星观测，潘鼐的《中国恒星观测史》一书中就列出了9条这样的记述，它们与《景祐星表》中所列基本一致。这就表明《宋史・天文志》中这一部分的撰写是以《乾象新书》作为主要参考书之一的，《景祐星表》在历史上确实受到过人们的重视。它在中国古代天文学的发展过程中还是具有一定的重要地位的。我们也应该加强对其研究，以期能对其给予客观公正的评价。



## 第四节　北宋《皇祐星表》

### 一、概况

《宋史・律历志九》中在“皇祐浑仪”一节中叙述了该浑仪的制作过程及结构后谈到：“其所测二十八舍距度，著于后；其周天星入宿去极所主吉凶，则具在《天文志》。”其后则列出了二十八宿的宿度数据。这里所说的《天文志》并非《宋史・天文志》，通常认为是指《国史志》。据《文献通考》记述，北宋有《三朝国史》和《两朝国史》之分。南宋晁公武所撰《郡斋读书志》中谈到：《两朝国史》“仁宗、英宗两朝国史也，王珪等撰。”“志四十五卷，比之实录，事迹颇多”。可见皇祐恒星观测的数据应

保存在《两朝国史》的"天文志"中。《两朝国史》虽已难以寻觅,但其"天文志"的一些内容在《文献通考》的"象纬考"中不难找到。其中以"两朝天文志"字样作标志所述恒星位置数据也就是皇祐恒星观测所得到的。皇祐年间观测到的恒星位置数据还留存在其他文献中,它们是《灵台秘苑》、《象林》、《天文大成管窥辑要》、《天元历理》等。其中《灵台秘苑》原为南北朝时北周天文学家庾季才撰著,共一百二十卷,后在北宋由王安礼进行了删改重修。现存《四库全书》本就是由王安礼重修后的十五卷本,故能保存有皇祐观测数据。《文献通考》为宋末马端临编撰;《象林》是明代陈荩谟编著;《天文大成管窥辑要》、《天元历理》则分别是清初黄鼎、徐发编著;它们保存有皇祐观测数据可能是同出一源的。潘鼐在其《中国恒星观测史》一书中以北京图书馆藏明抄本及文津阁本《四库全书》所收《灵台秘苑》、商务印书馆《十通》本及上海图书馆藏明刊本《文献通考》、上海图书馆藏《象林》并参考清顺治刻本《天文大成管窥辑要》、清康熙年间初刻本《天元历理》等文献对皇祐年间恒星位置数据进行了汇总整理,最后证定出一份《皇祐星表》。根据《宋史·天文志一》中"黄赤道"一节中记有:"然自唐一行作《大衍历》,以仪揆测之,得毕、觜、参、鬼四宿,分度与古不同。皇祐初,日官周琮以新仪测候,与唐一行尤异。"潘鼐认为皇祐观测是由周琮主持进行的,故称其为《周琮星表》。由于文献众多,所记常有讹错矛盾之处,《灵台秘苑》、《象林》中还附有星图,将其与宋代其他星图对照也常有星名上的错乱,最后的核定还要通过相当精密的计算,故汇总证定的工作是相当繁琐复杂的,工作量之大也是有目共睹的,潘鼐为此所付出的劳动是可以想象的,其贡献也是比较突出的。

《皇祐星表》包括星官 283 座共 1 464 颗恒星。潘鼐整理所得星官数相同,但恒星中缺离宫 6 星和少丞 1 星共 7 星,故实际星数为 1 457 颗。其中具入宿度、去极度数据的恒星共有 360 颗,但也有个别恒星只有去极度数据。各数据大部分给出了整度数,但也有相当多的数据给到了半度,个别的数据精确到 1/4 度,只有纽星的去极度数据为"皇祐测一度少强"①,精确到 1/12 度。各星的排列是按照三垣二十八宿体系的顺序,表明这时该体系已经被官方天文机构所接受,陈卓整理的三家星官体系的影响已逐渐减弱。按照南宋李焘《续资治通鉴长编》中"皇祐三年辛卯岁十二月庚辰,翰林天文院新作浑仪成"的记述,潘先生将星表的观测年代定为皇祐三年末至四年,即公元 1052 年。这也是该星表的历元。潘鼐以该星表中恒星的位置数据换算为历元 1975.0 时的位置,从而可与现代星表中所列恒星位置坐标进行比较,以确定星表中恒星与现今已知位置的恒星中的哪一颗对应,取得了较为



① 《灵台秘苑》。



满意的结果，他还据此复原绘制了《皇祐星官图》，最后完成了皇祐年间恒星的中西星名的对应工作。这一工作对应用中国古代特别是宋代的天象资料研究有关的天文问题是具有重要的意义的。只要在天象资料的记录中谈到某一天象发生在某一恒星附近时依据这一对应关系人们就能方便准确地知道其发生的位置，这对人们利用古代文献研究周期彗星的运动、流星雨、新星和超新星爆发的遗迹，甚至利用古代月掩星资料研究地球自转的长期速率变化都是十分有利的。而能做到这些是与《皇祐星表》中数据资料的相对完整、精确是密切相关的。

## 二、数据精度的讨论

从《皇祐星表》中数据的读数精度来看，它与《景祐星表》相比并无太多的优越之处。但通常人们认为它比后者精度提高了不少。早在20世纪60年代，薄树人在其《中国古代的恒星观测》[1]一文中介绍日本著名学者薮内清的计算结果时就讲到皇祐观测二十八宿宿度的平均偏差为0°.47，而景祐观测得到的是0°.67，显然前者要比后者精度有所提高。潘鼐的《中国恒星观测史》中对皇祐年间的二十八宿宿度和距星去极度数据也做了计算，得到其宿度值的平均偏离为0°.45，距星去极度值的平均偏离为0°.37。与上节中所列景祐观测的相应值分别为0°.63和1°.63相比，他认为"显而易见，精确度较景祐观测大有提高，进步很多。这当是皇祐年的仪器制造比较精良，观测方法比较细致的缘故。"给予了较高的评价。皇祐年间的恒星观测精度有了提高看来目前尚无不同的意见。在第四章中曾经提到郭盛炽在其《北宋恒星观测精度刍议》一文中认为北宋的四组宿度数据的观测精度似为相仿，但也承认四组数据与计算值之间出现最大偏离的频率逐组趋低，确也表明了观测精度的提高。至于景祐去极度数据的平均偏离较大则认为是其系统误差较大的缘故，但也并未由此否认皇祐年间观测精度有所提高。从目前研究的现状看来，要准确地指出皇祐观测比景祐观测在精度上提高了多少是十分困难的。仅仅根据对二十八宿位置数据的分析来做出判断，看来还是不够的。在上一节中我们已经指出，在景祐观测的二十八宿去极度数据中存在原因未明的较大偏离，它们明显地是一种系统误差，在未将这一系统误差分离并扣除的情况下尚不能确定景祐观测的精度水平。然而根据潘先生对皇祐观测中二十八宿有关数据的分析可知，其去极度数据的偏离并未出现景祐观测的半周天为正值、半周天却较小或为负值的情况，这似可表明皇祐观测数据中的系统误差没有景祐观测那么明显，这当是其所使用的观测仪器的安装上考虑较为缜密，使观测结果中的系统误差大为削弱的结果。应





① 见《科技史集刊》，第3卷，1960年。

该肯定这是皇祐观测的一大进步，至于其观测精度则需做进一步的研究。潘鼐在将《皇祐星表》中各星与现代通用星名进行对应的工作过程中指出，360 颗恒星中有 345 颗能够定出对应星，且其赤经、赤纬的偏差均不超过 1°.5 的有 310 颗。这大体上可以看出《皇祐星表》的精度情况，但要做更具体的了解就必须对其可能存在的系统误差做进一步的分析，将它们尽可能从数据的偏离中分离出去，从而得到可靠的观测精度。看来这还是相当困难的。

由以上情况我们可以看到，《皇祐星表》的观测资料相对来说是比较完整的。有数种文献资料可供校核，数据也相对可靠。初步的分析研究又表明其数据的偏离并不太大，其系统误差相对来说尚不太明显。作为继《石氏星经》、北宋《景祐星表》之后的我国古代现存的第三部恒星位置表，它客观地反映了当时恒星观测工作的情况，是研究北宋恒星观测水平的最佳文献资料。

## 第五节 《郭守敬星表》

### 一、《郭守敬星表》之考证

我们在第四章中曾经指出元初著名天文学家、天文仪器制造家郭守敬曾经制作过大型天文观测仪器——简仪，并用它对恒星位置进行了观测，写下了《新测二十八宿杂坐诸星入宿去极》1 卷、《新测无名诸星》1 卷，将中国古代的恒星观测工作推进到了一个全新的高度。可惜有关的观测数据未能留存下来。我们还曾谈到北京图书馆藏有明抄本《天文汇抄》22 卷，其中有《三垣列舍入宿去极集》1 卷，潘鼐通过整理研究，认为该卷即元初郭守敬著作中的有关数据，并将其命名为《郭守敬星表》。这一星表的精度达到了前所未有的高水平，展现了恒星位置观测的新局面。



潘鼐在《郭守敬〈新测二十八宿杂坐诸星入宿去极〉考证》[①]一文中对明抄本《三垣列舍入宿去极集》进行了考证。抄本一开始就列出了二十八宿的赤道宿度、黄道十二次的相应度数和天汉起没歌，然后就依三垣二十八宿的顺序绘出了各星官的恒星相对位置图形，在各恒星的下方或近旁则列出了该星的入宿度、去极度数据。恒星均以小圆圈表示，共有 1 374 颗。但并非所有恒星都注有位置数据。据潘鼐统计，注有数据的恒星在紫微垣有 78 颗、太微垣 41 颗、天市垣 64 颗、东方七宿 93 颗、北方七宿 194 颗、西方七宿 165 颗、南方七宿 106 颗，合计有 741 颗。这就比留存至今的在其以前的三部星表包含的数据都要多得多。数据以 1 度为 100

① 见《上海天文台年刊》，1988 年。



分表示到 10 分，表明其读数精度达到 1/10 度。这与现存于中国科学院紫金山天文台的明代简仪上赤道环、四游环等规环上的刻度将每度分为 10 等份的做法是符合的。明代简仪是仿制元代的，郭守敬创制的简仪也可能采取了同样的办法，这似应为抄本中数据系郭实敬所测之必要条件。由于抄本并未署作者姓名，也没有序、跋、题记以说明，很难最后确定它就是郭守敬通过观测所得到的恒星位置表。潘鼐先生文中曾从 5 个方面进行过考证，指出书中所载二十八宿赤道宿度值与《元史・历志一》中所载"至元所测"即郭守敬在《授时历》中所采用的数值完全相同；书中黄道十二次宿度与《授时历》中所载也完全一致；除各星数据将 1 度分为 100 分与郭守敬所创立的度分制相同外，书中还称"周天三百六十五度四分度之一，二百八十三座，一千四百六十四星"，这也是明末徐光启以前传统运用的数据；书中述北极五星中天枢的去极度数据为 2 度 90 分，与《元史・天文志一》中记简仪定极环时"极星去不动处三度，仅容转周"的叙述符合，其值与计算所得至元十七年时天枢星的极距 2°40′大体相当；经过计算，各星的入宿度、去极度数据均与元初即公元 13 世纪后叶的时代相符。潘鼐据此认为，该抄本"实为郭守敬《新测二十八宿杂坐诸星入宿去极》一卷的不完全抄本。"看来是很有道理的。不过由于《授时历》是我国古代行用时间最长的一部历法，它从至元十八年(1281)正式颁用后一直使用到明末(明代大统历只是在授时历的基础上稍做调整和改编)，历时 360 多年，在此期间其基本数据或某些做法也就得到了官方的认可而得以在各种天文工作中推行，故抄本中的数据也有可能并非郭守敬当年所亲测但仍会出现以上所述的某些符合的情况，如果真是这样，其所对应的观测年代就要晚一些了。然而在没有得到最后否定结论的情况下，仍称其为《郭守敬星表》看来还是适宜的。




## 二、古代恒星观测最高水平的反映

《元史・历志一》中"周天列宿度"一节指出：

> 然列舍相距度数，历代所测不同，非微有动移，则前人所测或有未密。古用窥管，今新制浑仪，测用二线，所测度数分秒与前代不同者，今列于左。

以后则按落下闳所测、唐一行所测、宋皇祐所测、元丰所测、崇宁所测、至元所测的顺序列出了历代所测二十八宿宿度值的异同情况。这里说到了历代宿度值出现差异的两种原因，看来都是有些道理的。恒星"微有动移"我们在第二节中已经说到过这可以说是一种原始的恒星自行概念，尽管在古代的观测条件下人们还难以观察到恒星的自行现象。随着天文观测仪器的发展和观测技术的进步，"前人所测或有未密"的情况也是永远存在的。但这两种原因并非宿度值发生变化的主要

原因，这表明当时人们仍然没有发现岁差现象对天体坐标数据所产生的影响，还未掌握利用岁差现象的有关计算推求不同时代恒星位置的方法。正是如此，人们只有通过实际观测才能得到恒星的准确位置数据，这才有了《郭守敬星表》中诸星的相应数据。这里讲到了观测所使用的仪器是浑仪，如果这一记述是准确的话，郭守敬在元初所制作的天文观测仪器中除简仪外必然还有一台浑仪，而这台浑仪为提高观测精度所做的主要改进也就是像简仪一样废除了窥管，代之以窥衡，其两端各有一测线，视二测线均与被观测恒星重合时仪器就对准了目标，这种利用三点一线原理瞄准的方法显然可以大大提高恒星观测的精度。这从所列出的"至元所测"宿度数据可以看出。数据中读数精度有的达到 5 分，即 1/20 度，这比以前至多只能精确到 1/4 度显然有了不少提高。按照潘鼐的推算[①]可知，这些宿度值的误差通常只有数角分，有的还不到 1′，最大者也只有 11′.4。其平均偏离为 4′.2，比北宋精度最高的崇宁年间所测的宿度值(据潘鼐的计算其平均偏离约为 9′.6)更精确。这客观地反映了郭守敬当年恒星观测工作的精度水平。明抄本中二十八宿宿度值与此相同。明抄本中二十八宿距星去极度数据的读数精度为 10 分，与《皇祐星表》中精确到半度相比是有了相当的提高，但比其自身的入宿度数据精度仍差了一些。也是根据潘先生的推算(出处同前)，距星去极度数据与计算所得结果之间偏离通常为 20′左右，最小只有 2′.1，最大却达 47′.4，其平均偏离为 18′.5。据潘先生推算，北宋《皇祐星表》二十八宿距星去极度数据的平均偏离为 0°.37，即 22′.2，可见抄本中相应数据的精度虽有提高，但进步并不太大。对于去极度数据精度低于宿度数据的原因，潘鼐在《郭守敬〈新测二十八宿杂坐诸星入宿去极〉考证》一文中认为："宿度，即赤经差，是一距星与西侧距星赤经的差数。通过同时进行的两次观测，某些造成误差的因素会被抵消。只做一次观测的赤纬，其误差就比较大一些。"看来是很有道理的，不过这里所说的误差只能是系统误差，因为偶然误差的分布是随机性的，其值可正可负，两距星赤经上的偶然误差在求赤经差时并非总是可以互相抵消的。只有系统误差在两星相距不是太远的情况下才能是大小相仿的，通过赤经相减而得到部分抵消的效果。而这种系统误差在潘鼐的文章和著作中均未谈到。

潘鼐的文章和著作中对《郭守敬星表》中的位置数据进行了抽样校核，这些星分布于三垣二十八宿的各个星区，找出其对应的恒星并计算出其准确的位置数据，从而得到各星位置数据的偏离。他发现去极度数据的偏离中南方七宿和东方七宿 14 个天区中基本上为正值，另十四宿的天区中则基本上是负值。在二十八宿距星的去极度数据上也有类似的情况，这显然是一种系统误差。据潘鼐分析，这种系统



① 在《郭守敬〈新测二十八宿杂坐诸星入宿去极〉考证》一文和《中国恒星观测史》书中均有引述。



误差呈正弦曲线的变化。用最小二乘法计算并剔除这种系统误差后，这些星的去极度数据的平均偏离从18′.3降至13′左右，取得了一定的效果。由于紫微垣中的恒星距北天极较近，其在东西方向上的一点偏离就会造成入宿度数据的较大误差，故抽样校核的这些恒星入宿度数据的平均偏离也受其影响而达到17′.2。当紫微垣中的恒星不参与计算平均偏离时则可降为11′.7。在去极度数据扣除系统误差后其平均偏离与入宿度数据也就大体相仿了，可见以上的分析是有一定的道理的。当然，潘鼐所做的分析还是相当初步的，和前两节中所述北宋《景祐星表》、《皇祐星表》类似，目前对这些星表进行深入研究的人是相当少的，潘鼐的研究尚属绝无仅有，看来要得到更为准确的结论还需要进一步的深入研究。不过潘先生的研究给出了这些星表的大致情况，在研究古代星表的工作中迈出了难能可贵的第一步，开拓了一条新的途径，其意义是不言而喻的。

《郭守敬星表》的编排形式也是十分独特的。它采取在三垣二十八宿的基础上划分更小星区，绘制其中各星官的恒星排列图形，并在星旁注明其坐标数据的方法，这是以前的星表从未采用过的。虽然《甘石星经》中曾在各段文字叙述前绘有相应星官的图形与此有一定的相似，但并未将恒星位置数据与图形结合得如此紧密。这种类似星图的星表是十分罕见的，应该说是一种独创。其实用性很强，人们使用它时可以对照实际的星空进行观察，从而避免或减少差错的发生。其使用起来也是相当方便的，只要看到恒星在某图像上的位置立即就可以知道其坐标数据，而无须在一大堆数据中寻找。由于图形与位置数据是一一对应的，如果在抄写中有较大的笔误，也可以方便地从与其附近恒星的相应数据的对比中发现并改正，故对数据的考校是十分有利的。由此可见，这种编排形式的设计在当时来说是相当科学的。然而由于元代统治者将这些著作秘藏于府库，这一独创的编排形式未能流传开来而被后人所应用，使其成为一枝独秀。在西方天文学传入中国后，星表的编排也受到西方星表的影响，也就不会采用这种形式了。




《郭守敬星表》是中国古代天文学发展到鼎盛时期的产物，是中国古代恒星观测工作最高水平的客观反映。从初步的分析可知，其所给出的恒星位置数据的精度已达12′左右，如果更有效地消除系统误差其精度有可能还会更高，这是以前的星表从未达到的。它是我国现存的第四部古代星表。在其后150年左右，国外才出现了中亚地区帖木儿帝国的《兀鲁伯星表》，这是国外继《喜帕恰斯星表》之后的第二部星表，据研究其精度只略高于《郭守敬星表》，但所收录的恒星数目却比后者少。由此可以看出，《郭守敬星表》在当时世界上还是处于领先地位的，充分显示了我国古代天文学特别是在恒星位置观测方面的重大成就，其在世界天文学发展的历史上具有相当重要的意义。它和简仪、大型圭表等先进天文仪器的创制、授时历

的精密编制一样是郭守敬等元代天文学家对天文学事业的不朽贡献。需要指出的是，中国古代最早的四部星表在世界天文学史上都应是具有相当重要的地位的，但人们尤其是国内学术界对它们的研究还是相当不够的，对它们的研究不是很少就是尚未深入，目前尚不能从学术上对其做出客观细致的评价。看来，努力对这四部星表进行较为深入的研究，展现其观测水平的真实面貌是十分必要的。

## 第六节　两部源自阿拉伯的星表

由于封建社会在明代时已经开始走向没落，也由于从北宋时开始封建统治阶级禁止民间私习天文所造成的恶果在这时造成了影响，还可能是元代天文学家郭守敬等人所作出的贡献太大，使这时的人们反而无所作为，明代的天文学在西学东渐之前几乎没有什么突出的成就，在恒星观测方面也是如此。然而在明王朝建立之初对天文工作倒还是很重视的。在洪武元年(1368)，官方不但设立了司天监，还增设了回回司天监。在《明史·历志一》中对此有所记述：

> 洪武元年，改院为司天监，又置回回司天监。诏征元太史院使张佑、回回司天太监黑的儿等共十四人，寻召回回司天台官郑阿里等十一人至京，议历法。三年改监为钦天，设四科：曰天文，曰漏刻，曰大统历，曰回回历。以监令、少监统之。……十五年九月，诏翰林李翀、吴伯宗译回回历书。

《明史·历志七》叙述回回历法时也谈到："洪武初得其书于元都。十五年秋，太祖谓西域推测天象最精，其五星纬度又中国所无。命翰林李翀、吴伯宗同回回大师马沙亦黑等译其书。"由这两段叙述我们可以看到从明初开始人们就已十分注意学习和研究伊斯兰天文学，这也可视为明代天文学中的一个特点。叙述中述及洪武十五年所翻译的回回历书在洪武十六年完成，定名为《天文书》，后人称其为《明译天文书》，它在《涵芬楼秘笈》中仍能找到。



### 一、《明译天文书》中的星表

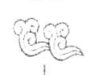
《明译天文书》共分 4 卷 58 章(书中称四类五十八门)，其第一卷第八章是"说杂星性情"，叙述了有关恒星的情况。首先介绍了西方的星等概念：杂星"大小有六等，有大显者，有微显者"。这是我国古籍中关于西方星等概念的最早文字记载。其后则是一仅包含有 30 颗恒星有关数据的星表。这些恒星都是"光显有力"的亮星，星表依次叙述了它们所在黄道十二宫的宫名、黄经值、在黄道之南还是北、星等以及相应于托勒密《天文学大成》星表中的星座名称和在该星座中的编号等信息。



这部星表的原作者是波斯天文学家阔识牙耳(Kushyaribn Labban,约 971—1029),著有《完备的天文表》(Zij al－Lami)现在欧洲尚留有藏本,其中的星表就与《明译天文书》中的完全相同。由于其星座名称有些与现代通用的不同,按照恒星在星座中的编号一般也难以与现代的星号对应,故对这 30 颗恒星究竟是哪一颗是很值得研究的,我国从清代初就有人对这一问题进行过探讨。当时著名的数学家和天文学家薛凤祚就曾写过一篇《西域回回历并表》[①],对其有所讨论。其后著名数学家、天文学家梅文鼎也在《西国三十杂星考》一文(编入《梅氏丛书辑要》卷六十“杂著”)中对这一问题做了缜密的考订。日本学者今井溱、薮内清也先后对此进行了整理研究。潘鼐在以上 4 人的研究基础上,根据原文并对照计算所得的恒星黄经、黄纬数据对这一问题重新进行了仔细的研究,在其所著《中国恒星观测史》一书中列出了各星所对应的现代通用名称。其与上述 4 人的研究结果有差异的则在备注栏中列出后者,以便对比。看来这些研究还是具有一定意义的。

《明译天文书》星表中星数较少,其使用价值相对来说就显得不是很大,在天文学发展的历史上意义也就十分有限。尤其是人们发现其各星黄经数据均比托勒密《天文学大成》星表中相应值大 13°,也比公元 10 世纪苏菲(al－Sufi)的星表均大 0°.18,这就表明这些数据不是通过观测得到的,而是利用岁差公式推算了春分点在黄道上的位移量,据此再在恒星黄经上加上同一改正量而得到的。由此看来,这部阿拉伯星表在学术上的意义是不大的。然而它在天文学的东西方交流史上还是具有一定的重要意义的。它使中国古代的人们对西方表示恒星位置的方式有了最早的认识,使其在继对黄道十二宫有所了解以后进一步确立了黄经的概念。尤为重要的是在叙述了 30 颗恒星的有关信息后有一明确的关于岁差推算的叙述:“已上星度是三百九十二年前之数,其星皆东行,一年行五十四秒,十年行九分,六十六年行一度。观者依此推之。”这就将西方天文学中对岁差现象的理解介绍到我国来了。中国古代对岁差现象的认识只是理解成冬至点在天赤道上的向西移动,从而使太阳在天空中运行了一周并不恰好回到恒星之间的原处,而是在其西边一点。也就是说,中国古代认识到的岁差现象只是局限于回归年比恒星年短这一表现,并通过“使天为天,岁为岁,乃立差以追其变,使五十年退一度”[②]之类的方法来解决这个问题。由于中国古代对恒星在东西方向上的位置是采用了入宿度这一坐标,这就相当于两颗相距不远的恒星之间的赤经差,岁差对恒星入宿度数据的影响也就被大大削弱,故人们对岁差会影响恒星位置数据基本上是没有什么概念的。这里却明确指出了恒星的黄经是相对于 392





① 《淄川薛氏遗书》第十五册,1964 年版。

② 《新唐书·历志三上》。

年以前的历元的，恒星均有向东的位移，这就第一次将全新的岁差概念展现在人们眼前。虽然由于中国古代传统的岁差概念的束缚，人们并未能很快接受它，但这一新概念传入的意义却是不应低估的。

## 二、《七政推步》星表

无独有偶，在明代成化年间也有一部阿拉伯星表被介绍了进来。成化六年(1470)南京钦天监监副贝琳也开始了对回回历法的整理修订工作，于成化十三年完成，出版了一部名为《七政推步》的著作。由于同是回回历法，它与《明译天文书》应是同源的。清初梅文鼎则认为它们是相同的：《天文书》"与回回历经纬度及其算法共四卷，并洪武时翰林吴伯宗、李翀受诏与回回大师马沙亦赫、马哈麻同译，而天顺时钦天监正贝琳所刻也"①。看来是有一定的道理的。但它们也可能只是回回历法的不同版本，其主要部分是一致的，但不排斥在某些方面存在着差异，这是贝琳从事整理修订的结果。

《七政推步》卷六中有一部名为《黄道南北各像内外星经纬度立成》的星表。这里所说的"像"就是指星座，"立成"实际上就是速查表。该表中载有黄道附近的277颗恒星所在的星座名称、在星座中的编号、黄经和黄纬数据、星等等内容。各恒星所在星座名及在其中的编号与托勒密《天文学大成》星表中相同。星表的最末一栏则列出了恒星对应的中国星名，这可以说是我国最早从事的恒星中、西名称对应工作。这277颗恒星有的是托勒密《天文学大成》星表中所没有的，其星座名称及编号则以"新译星无像"代替。有的星所对应的中国星名在传统的1 464颗星以外，则以无名星来称呼，但指出其位于某一星官的什么方向处。从其黄经、黄纬数据分析，它们都是通过实际观测得到的，由此也可以对其观测年代进行研究。潘鼐的《中国恒星观测史》中就进行过这样的研究。他在277颗恒星中按黄道十二宫每宫任选两星作为样本，进行了抽样推算。先根据星表中列出的中国古代星名依照他自己确定的《皇祐星表》中星名与今通用星名的对应关系证认其相应的恒星，再由表列黄经、黄纬数据与计算值比较以推算其观测年代，得到各星的观测年代基本都在14世纪，平均观测年代为公元1359年±30年，其离散情况并不太大，表明其结果还是相当可靠的。此前，日本著名科技史专家薮内清也曾就这一问题进行过探讨。他根据《七政推步》卷二中太阳远地点的黄经推算其观测年代约为公元1258年。由于太阳远地点黄经的移动较缓慢，这一年代可能并不准确。然而他又选择了8颗在证认上不存在问题的恒星，由其黄经再来推算观测年代，得到了是公





① 《勿庵算历书目》"回回历补注三卷"及"西域天文书补注二卷"，转引自潘鼐《中国恒星观测史》。





元1365年观测的结果。他所得到的结论与上述潘鼐的结果是基本符合的。这一年代相当于明王朝建立前的数年。通常认为它们不大可能是元代官方的阿拉伯天文学家在元朝即将灭亡时所做的观测，它们更可能观测于中国版图之外。按照贝琳在《七政推步》中自跋的说法是洪武十八年(1385)有"远夷归化"，呈献了回回土盘历法，可见这确是从国外较远的地方传进来的。由于这种回回历法与已经在中国流传的版本是同源的，而其传入之时《明译天文书》又刚刚翻译完成，也就没有必要马上将其再翻译为汉文，故直到成化年间才由贝琳最后完成这一工作。由于中国传统的天文观测仪器基本上都是赤道式的，即使有黄道环可以确定天体在黄道方向上的位置也是通过北天极得到的似黄道坐标，它与阿拉伯天文学中的黄经、黄纬还是有区别的。虽然在元初时有札马鲁丁制造过一些西域仪象，其中混天仪似能进行恒星的黄经、黄纬观测，但并无迹象表明曾用它进行过这种观测。如果元代官方天文机构确进行过这一类观测，就应有资料留存下来而被明代所接管，也就不必再从国外传入了，故《七政推步》星表不可能产生于当时中国的本土是确凿无疑的。

《七政推步》星表中恒星的黄经数据均是先列出其所在黄道十二宫的宫次，然后紧接着就是在该宫中的度分数，其单位与现今所用的角度单位完全一样，只是读到分数，即精确到1′。其黄纬数据则也是读到1′，并在度数以前用"南"、"北"字样表示恒星与黄道的相对位置。将其与《郭守敬星表》只能读到1/10度相比，读数精度显然要提高了不少。这充分表明当时伊斯兰天文学确实已经发展到相当高的水平，其观测技术已经领先了不少，故明代官方明确了向其学习的方针。可惜的是当时只是接受了伊斯兰天文学中的某些成果，用来改进历法的推算，而未能引进其先进的观测技术和观测仪器以对我国固有的传统做法进行彻底的改造，从而使我国古代天文学增添新的活力，呈现出全新的面貌。看来，这也是当时封建社会已经日益腐朽没落这一历史条件所决定的。《七政推步》星表是研究中国古代与其他民族之间在恒星观测方面交流情况的重要史料，由于其中有的恒星是托勒密《天文学大成》星表中所没有的，它为研究伊斯兰天文学乃至世界天文学在恒星观测发展的历史方面提供了一份新的文献资料，其意义显然是重大的。





## 第七节 《崇祯历书》星表

明代末年，西方先进的天文学知识随着传教士的东来而传入了中国。《崇祯历书》的编纂是将西方天文学知识全面系统地介绍和吸收进官方天文工作的标志。从此以后中国传统的天文学逐渐融合进了更为科学合理的内容，形成了逐步与西

方天文学接轨的体系。在恒星观测方面也是如此。我们在第四章第八节中已经叙述了明末在西方天文学的影响下在天文观测仪器方面所发生的变化，这对恒星观测提供了更为有效的手段；也概述了当时在恒星观测方面所取得的成果，其中对《崇祯历书》中与恒星观测有关的内容也做了简要的介绍。在这一节中我们准备对《崇祯历书》的星表做进一步的深入探讨。

## 一、《恒星历表》概况

《崇祯历书》星表实际上就是指《崇祯历书》中的《恒星历表》四卷。其大概情况在第四章第八节中已有叙述。《恒星历表》是崇祯四年（1631）由徐光启第二次进呈《崇祯历书》书稿中的内容。由于当时明王朝已濒临灭亡，徐光启去世后虽有李天经继承其事业，但《崇祯历书》始终未能全部正式刊行。《恒星历表》虽然有明刊本，但其名称却已改为《恒星经纬表》二卷了。清代顺治二年（1645）西方传教士汤若望将《崇祯历书》改编为《西洋新法历书》时也采用了同样的名称和分卷形式。《西洋新法历书》在清代顺治、康熙年间都有刻本，在《四库全书》中收录时因避乾隆名讳而更名《西洋新法算书》。从《崇祯历书》到《西洋新法算书》，历经多次删改、刊刻，版次较乱，各版卷数也有变化，但其有关星表的部分大体上能保持一致。另外，其有关数据在清代编纂的《古今图书集成·历象汇编·乾象典·星辰部》中也有保存。

《崇祯历书》星表中所给出的恒星数据基本上仍是按照当时中国通行的三垣二十八宿体系的次序排列的。也就是说，它仍是将全天的恒星划分为 31 个天区，依次进行叙述。在叙述一个天区时是先绘出其中各星官的成员星排列形状和相对位置情况，然后以表格的形式给出了各星的星名、黄道经度、黄道纬度、在黄道的南或北方、赤道经度、赤道纬度、在赤道之南或北方、星等、所在宫次等信息。其中的位置数据均以西方的角度单位给出，即采用了现代通用的将一圆周划分为 360°，1°又划分 60′的角度单位，各数据的读数可精确到 1′。其黄道经度数据没有超过 30°的，它实际上是表示恒星在黄道十二宫中的位置，也即恒星在黄道上的投影与其所在宫次开始处的角距离，这与中国古代所用的入宿度坐标的概念具有一定的相似之处，只是这里宫次的开始处并不是有一实在的恒星与其对应而已。这里的黄道经度、黄道纬度都是以黄极作为基本点、黄道作为基本面的，与现代天文学中所用的黄经、黄纬基本上已无太大差别。这是我国古代官方天文机构在恒星测量工作中第一次使用这两个坐标来表示恒星的位置。在《恒星历指叙目》中徐光启曾经谈到："今拟新历，以崇祯元年戊辰岁为历元，一切撰造，断以是年为始。故恒星黄、赤道经纬皆用是年实测度分，辗转推算，三四校勘，无有差忒，然后绘图立表，以待施




用。”可见《崇祯历书》星表中的恒星位置数据都是在崇祯元年(1628)通过实际观测而得到的。由于在观测过程中经过反复的推算和校核，消除了某些存在的明显差错，使这些结果就更为可靠。不过由于崇祯元年时徐光启尚未受命督修历法，他申请制作一系列大型天文观测仪器也是在崇祯二年他兼理历法后的事情，而当时观测恒星位置要精确测量到1′则又非使用大型的精密天文仪器不可，看来这些恒星数据的取得更可能是崇祯二年以后的事情，然后利用岁差公式再将其历元推算到崇祯元年的。由于他所采用的岁差常数已相当精确，其推算也就不会有明显的误差。在《恒星历指》中，徐光启对黄经岁差的采用值做了叙述：“每岁东行一分四十三秒七十二微二十六纤，六十九年百九十一日七十三刻而行一度。”前一数字的单位是采用了百分进位的角度单位，即0.014 373 26度，约为51″左右。依照现代岁差公式计算，当时的黄经岁差应为50″.2，约71.7年春分点向西移动1°。可以看出，徐光启所采用的数值与现代的计算值是相当接近的。对于恒星位置精确到角分的情况用它们来进行运算在一二十年内都不会引起明显差异。徐光启叙述中谈到的“东行”是指恒星受到岁差现象的影响而黄经值增加了，似乎其均有一向东的移动，这与春分点的西移是基本上对应的。

## 二、吸收西方天文知识的成果

《崇祯历书》星表中所收恒星数目虽然在不同版本中小有差别，但均在1 350颗以上。这虽然比中国古代传统中所说的283座星官、1 464颗恒星的数字略少，但由于在此以前的星表中所给出的恒星位置数据远比这一数字要少得多。《郭守敬星表》中虽然绘有1 374颗恒星的标志点，但实际给出其位置数据的也仅有741颗。在此前星表恒星位置数据则更少。相比之下，《崇祯历书》星表不但给出位置数据的恒星数目多，而且每颗恒星除给出赤道经度、赤道纬度外还给出了黄道经度和黄道纬度共4项数据，这就提供了前所未有的大容量信息，为人们研究其情况留下了丰富的资料。由于在这些恒星的位置数据的获取过程中使用了西方款式的新型测量仪器，在观测技术上也有较为缜密的考虑，观测严谨认真，又经过反复地校勘核查，故数据的可靠性也是前所未有的。其读数精度可达到1′，与《郭守敬星表》中精确到1/10度相比可以说是又上了一个新台阶。这应该说是中国传统的天文学打破了自我封闭，主动汲取了西方天文学中先进知识的养料所取得的空前成就。不过据潘鼐在其所著《中国恒星观测史》一书中对《崇祯历书》星表中二十八宿距星的位置数据的分析可知，其赤道经度、黄道经度的误差有大到50′以上的，赤道纬度、黄道纬度的误差最大也分别为32′和25′，但绝大部分误差值通常为数角分。对于少数误差特别大的情况，估计不可能是观测本身偶然误差大，似更可能是相应的




数据在其产生的过程中出现了错误，潘鼐认为可能是誊录或计算中的错误，看来不无道理。在剔除个别误差特别大的数值后，潘鼐得到《崇祯历书》星表中二十八宿距星赤道经、纬度，黄道经、纬度数据的平均偏离分别是 2′.8、4′.3、2′.6 和 2′.4，这与元代《郭守敬星表》二十八宿宿度和距星去极度数据的平均偏离分别是 4′.2 和 18′.5 相比还是有相当大的提高的。当然，这里只是就潘鼐的研究进行比较，由于除潘鼐的研究以外尚无其他的研究结果，这还不能肯定就是最后的结论，要做出更加客观的评价还需人们进一步的研究。

值得注意的是，《崇祯历书》星表中二十八宿距星有了个别的调整，最明显的是将奎宿距星取为奎宿一（仙女座 $\eta$ 星）。按照《明史・天文志一》中对崇祯元年所测二十八宿的赤道宿度值中壁宿和奎宿所相应的数据分别为 10°28′和 14°30′。如将壁宿、奎宿、娄宿的距星均按照北宋时采用的距星进行计算，则壁、奎两宿的宿度数据与计算值分别有 2.1 和 −2.15 古度的偏离，如将奎宿距星取为奎宿一而非奎宿二（仙女座 $\zeta$ 星）时则这两个偏差分别减小为 −0.37 和 0.31 古度。这显然是《崇祯历书》星表中奎宿距星做了改变的缘故。郭盛炽的《历代二十八宿距星考》[①]中对这一情况做了叙述。他还认为类似的情况也出现在昴宿，即其距星为后来被称为昴宿六的金牛座 $\eta$ 星。这一做法使胃、昴两宿的宿度数据与计算值的偏离分别由 0.48、−0.63 变为 −0.18 和 0.03 古度。由于将轸宿距星改取为乌鸦座 6 号星虽能使翼、轸两宿的宿度数据的偏离改善，但却使轸宿距星的去极度数据偏离变大，故尚难以肯定轸宿距星是否也做了改变。潘鼐《中国恒星观测史》中则明确指出，《崇祯历书》星表中“距星变动是很大的。奎、昴、觜三宿距星已分别改编（注：疑为‘变’之误）为奎宿二、昴宿三和觜宿二。”他还提请人们注意，《崇祯历书》星表中昴宿一、二、三分别为金牛座的 $\eta$ 星、11 号星和 17 号星。其结论与郭盛炽文章中所云迥然不同。书中列出了奎、昴、觜三宿距星改变前后有关恒星的赤道经、纬度和黄道经、纬度与计算所得数据及两者的偏离情况，但用其来判断距星的选取情况是困难的。潘鼐在该书中还提到：“《明史・天文志》论‘恒星’一节，取自《崇祯历书》，然数值略有参差。只因入清后汤若望将《崇祯历书》改编为《西洋新法历书》时，曾将原书包括恒星表在内做了一些修正，纂志所取素材又不一律的缘故。在河北献县天主教堂内，曾发现汤若望所修改的部分原底稿，朱墨兼施，数据更篡之迹，赫然具陈。”书中的图六十八就是“汤若望用朱墨二色修改的《恒星历指》赤道宿度底本”中从娄宿到柳宿共九宿的修改手迹照片。潘鼐又指出：“康熙年间梅文鼎等参与修《明史・天文志》时，取的还是明刊本的《崇祯历书》。”而汤若望的修改稿中的宿度





① 见《上海天文台年刊》，1990 年。



数据部分是做了修改的，奎、昴二宿亦属此例。很可能潘鼐与郭盛炽的结论不同，是取用了不同宿度数据的缘故。由于潘鼐未述及他确定奎、昴、觜三宿距星的具体过程，有关的情况也就难以了解，故只能暂且存疑了。由于觜宿二与觜宿一的位置较为接近，以其中任何一星作为距星对觜宿的宿度所产生的偏离相差并不太大，据此来肯定其距星的选取情况也就相应比较困难。潘鼐在《中国恒量观测史》中还对汤若望对二十八宿的位置数据所做的修改进行了研究，肯定了其某些修改使数据与实际天象更为符合，其中最为突出的是觜宿与参宿的排列。按照中国古代二十八宿排列次序是觜宿在参宿前面，但随着岁差现象的影响，明末时觜宿距星实际上已经在参宿距星之东了，这就应为参宿在觜宿之前了。但徐光启当时并未能冲破传统的影响以实际天象来更改这一次序，而是采用觜宿宿度取为 0°0′、参宿宿度取为 11°48′的做法以勉强维持原状。汤若望的修改则采取了参宿在前、觜宿在后的次序，其宿度值分别取为 0°24′和 11°24′，虽然两宿宿度值之和未做改变，但这一改动是与实际天象更为符合的。潘鼐还对二十八宿的宿度值进行了考校与整理，对不同版本中的宿度数据进行了比较，这对了解《崇祯历书》中二十八宿宿度数据的演变情况是有益的。

与以前的星表相比，《崇祯历书》星表的一个显著的进步是增加了近南天极的星官共 23 座，从而成为我国历史上最早的全天恒星位置表。由于我国古代的政治中心多位于北方，官方天文机构也设在那里，在进行恒星观测工作时对近南天极的恒星就无法观测到，从而也就不能提供具体的位置数据。当然，这并不是说中国古代对近南天极的恒星完全没有认识，东汉著名科学家张衡所写的《灵宪》中就有："在南者不著，故圣人弗之名焉。""而海人之占未存焉。"明确指出观测不到南天极附近的恒星故未给其命名的情况，近南天极的恒星只有航海到南方的人才能看到，故在恒星总数中并未包括进去。我们在第三章中也讲到唐代开元年间使者元太在南方观测到"八月海中望老人星下，列星粲然，明大者甚众，古所未识，乃浑天家以为常没地中者也。"但由于当时未在南方建立恒星观测点，也就未能得到各星的位置数据。《崇祯历书》星表中对近南天极的恒星不但全部给出了星官名称，还和其他恒星一样给出了黄道经纬度、赤道经纬度、星等等数据。由于崇祯年间的恒星观测也并未在南方进行，更无在南半球观测的记载，这些恒星数据的获得可能只是源于西方天文学典籍。这 23 座星官的名称绝大部分是西方星座名称的意译，其名称虽与今天通用的译名不同，但它终究是我国古代这一工作的最早尝试，是具有相当重要的意义的。




## 第八节 《灵台仪象志》星表

清代康熙年间比利时传教士南怀仁曾主持制造过六台大型天文仪器并进行恒星位置的观测工作，他在康熙十三年(1674)要求出版的《新制灵台仪象志》十六卷就是其所主持的两项工作成果的反映。由于其所制作的仪器刻度十分精细，不但将1°划分为60′，而且1′又细分为4等份，即将1°划分为240等份，精确到15″，这就使其恒星观测的精度有可能进一步提高。但在《灵台仪象志》的星表部分中对这一提高并无明显的反映。

### 一、内容简介

《灵台仪象志》的卷十至卷十四都是关于恒星位置数据的内容。卷十列出了黄道经度在从降娄宫到鹑尾宫范围内恒星的黄道经纬度数据；卷十一则是黄道经度范围从寿星宫到娵訾宫的相应数据；卷十二是赤道经度从0°到179°范围内的恒星的赤道经纬度数据；卷十三则列出了赤道经度从180°到359°范围内的相应数据；卷十四列出了增订各小星的黄道经纬度、赤道经纬度数据。这些内容基本上构成了《灵台仪象志》星表。其中卷十、卷十一共包括1 367颗恒星对应于康熙壬子岁(1672)历元的黄道经纬度数据，黄道经度按黄道十二宫的顺序给出恒星在各宫中的度数。卷十二、卷十三则包含1 368颗恒星，其历元对应于康熙癸丑岁(1673)。其后还附有对某些恒星的赤道经纬度的岁差改正值的表。卷十四则列出了509颗恒星的黄道经纬度，508颗恒星的赤道经纬度，它们都是较暗的恒星，其中5等星4颗、气5颗，其余均为6等星。以上星数合计可达1 876颗。这比《崇祯历书》星表中的星数增加了500多颗。与《崇祯历书》星表类似，各位置数据的读数均精确到1′，并无明显的提高。为了分析其位置数据的精度水平，在《中国恒星观测史》一书中，潘鼐对其中二十八宿距星的赤道经纬度数据进行了校算，得到绝大部分数据与计算值的偏离均只有数角分，只有6条数据等于或大于10′，其中尾宿一、箕宿一的赤道纬度的偏离过大，达到−36′和−32′。其赤道经度的平均偏离为4′.6，赤道纬度的则为7′.5。若剔除尾宿一、箕宿一，赤道纬度的平均偏离则可降为5′.5。这比同样由潘鼐得到的《崇祯历书》星表中二十八宿距星的相应数据略逊一筹。为了估计星表中的黄道经、纬度数据的精度，潘鼐采取了抽样校算的办法。他在十二宫中每隔10°选取一颗恒星共有36颗恒星的黄道经纬度数据，将其与计算值比较得到其偏离值，发现其大部分偏离也只是数角分，但偏离很大的也不少见，黄道经度偏最大者竟达1°13′，黄道纬度偏离最大者也有48′。黄道经度的平均偏离为8′.7，黄



道纬度的则是8′.5。这与他自己对二十八宿距星的黄道经纬度的精度分析结果有相当大的差距。这可能是后者中去除了一些偏离较大的恒星数据的缘故。另外两者所采用的数据分别对应于不同的恒星可能也会产生一定的差异，对二十八宿距星的观测通常要比观测其他恒星重视，其精度稍高也就不足为奇。从大部分恒星数据与计算值之间的偏离情况来看，其精度与《崇祯历书》星表还是相仿的，纵使稍差也是有限的。

## 二、评述

通常人们认为《灵台仪象志》星表是脱胎于《崇祯历书》星表的。伊世同在为《中国大百科全书·天文卷》撰写《灵台仪象志》条目时指出："星表的主要来源是《西洋新法历书》中的星表，后者未收的星则采用明末清初的实测或承传的数据，并归算到《灵台仪象志》星表所用历元。《灵台仪象志》仓促成书，资料来源不一，书中讹误和重复的地方较多(特别是星表部分)。"在此之前，由中国天文学史整理研究小组编著的《中国天文学史》一书中也明确指出："这一套办法完全是从《崇祯历书》或《西洋新法历书》星表继承来的。《西洋新法历书》星表共1 352颗星。把《灵台仪象志》星表所载位置和《西洋新法历书》星表相比较就可得知，两者的黄纬数值完全一样，只是黄经数值前者比后者增加了37′。这是因为《西洋新法历书》星表历元为崇祯元年(1628)，而《灵台仪象志》星表历元为康熙十一年(1672)，相距44年，以岁差51″计，44年黄经增加为37′24″。只取到分的单位，即增加37′。因此，《灵台仪象志》星表不是新测的，而是按《西洋新法历书》星表归算编成的。"看来这是人们通过研究后得出的确凿结论，应无任何疑问。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中也谈到，他抽取了《灵台仪象志》星表中一些恒星的黄道经纬度数据与《崇祯历书》星表中相应值做比较，其结果"莫不皆然"，从而有"《灵台仪象志》'黄道经纬度表'前虽号称该表为'……以黄道经纬仪所测恒星之度分也'，似为虚言。南怀仁所做的工作恐怕最多只是用仪器木样对恒星位置简略地做一核对而已。《灵台仪象志》与《崇祯历书》一脉相承，实为二位一体"的结论。由于按照潘鼐抽样校算的结果恒星黄道经度的偏离有高达1°15′的，如果进行过简略的核对观测如此大的误差也是应该可以察觉而加以改正的，既然连如此大的误差都未能发现，则其星位置数据不是源于实际观测应是无疑的。很可能这实际上只是南怀仁用来观测恒星黄道坐标的工作星表，它通过《崇祯历书》星表加上岁差改正而求得，以便据其在天空中找到相应的恒星。实际观测所得到的恒星位置数据倒因成书仓促而未能列出。这种由推算所得到的星表的研究价值当然不是很高。由于星表中列出恒星的赤道经纬度数据时并没有谈到是实测的结果，而是有"今从春分黄赤两交起算，将周天有名数之




星，而以康熙癸丑岁所历天上赤道之经纬度立表”的说明文字，这就更不可能是实测数据了，故潘鼐有“依此，大致是从黄道经纬度表计算而得，可能亦非实测”的结论。《灵台仪象志》的卷八、卷九就是将黄道坐标、赤道坐标互相化算的用表，正可在这一推算中发挥作用。不过，潘鼐对南怀仁的补充观测还是给予肯定的：“然而，南怀仁还是做了不少补充观测的。《崇祯历书》包含 1 366 星，初版《灵台仪象志·黄道经纬度表》为 1 367 星，相差一颗；《赤道经纬度表》1 368 星，相差两颗，当有一二颗六等星出入于两者之间。南怀仁所补测的是卷十四增订附各曜小星黄道经纬度表、增订附各曜小星赤道经纬度表内 509 颗或 508 颗星，加上上述多出的 1 星或 2 星，共为 510 颗 6 等小星。这些微芒难见之星类似郭守敬的无名小星。这使中国星表扩大了内容，是南怀仁的一大贡献。”然而他又指出，由于徐光启的《赤道南北两总星图》中星数有 1 812 颗，南怀仁的星表比其只多 64 颗，他补测的 500 多颗星的位置数据是否源于徐光启的遗稿尚需进一步研究。其观点看来还是相当客观的。不过，徐光启的星图所涉及的恒星数据在《崇祯历书》中并未全部列出，南怀仁星表中多出的 500 多颗恒星位置数据与那些在《崇祯历书》中未列出数据者是否各来自西方某一星表也未可知。由于这一研究的工作量比较大，要得到比较确实的结论还为时过早，这有待于人们的进一步努力了。

《灵台仪象志》星表在编排上有较大的改变。它放弃了中国古代按星区次序进行排列的方式，而采用了以赤道经度或黄道经度从小到大的依次排列方法，这就与近现代星表的排列情况基本相同了。由于中国古代的天文学与占星术有着十分紧密的关系，而在占星术中人们常将某些天象发生时所在的星官与人类社会中发生的事件建立起一定的联系，故也就十分注意星官在天空中的位置。中国古代的星表通常也就以星官为基本单元来排列。从《石氏星经》开始，对恒星位置的各种叙述均无一例外。以后出现的三垣二十八宿体系也保持着星官这一基本单元。这种叙述方法对于在不使用天文仪器观测的情况下辨认恒星还是比较方便的。然而随着时代的发展，星表中恒星数目有较大的增加，各星官除原有的成员星外还附有亮度较暗的一系列恒星，在星数众多的情况下仍依靠星官来辨认恒星就比较困难了。对专业天文工作者而言，他们可以使用天文观测仪器，根据仪器上的坐标标志使仪器指向天空中的某一已知位置以找到相应的恒星则是辨别恒星的有效方法。给出各恒星位置的星表中依恒星经过南北子午线的先后次序进行排列对子午观测来说是最方便的。《灵台仪象志》星表就是采用了这种与传统中国星表不同的排列方法，这显然是受到当时西方天文学传入的影响（星表的作者本人就是西方传教士），但与该星表可能只是用来指认恒星的工作星表也不无关系。



# 第九节　《仪象考成》《仪象考成续编》中的星表

## 一、《仪象考成》星表

《仪象考成》汇集了清代第二次官方主持的恒星位置测量的成果。除卷首上下两卷分别叙述了在乾隆年间制作的玑衡抚辰仪的结构、制作中的注意事项和使用方法、某些天文计算的有关情况外，其他三十卷都是叙述恒星的位置情况的。其卷一是《恒星总纪》，其中谈到：

> 康熙十三年，监臣南怀仁修《仪象志》，星名与古同者，总二百五十九座、一千一百二十九星，比《步天歌》少二十四座、三百三十五星。又于有名常数之外，增五百九十七星。又多近南极星二十三座、一百五十星。近年以来，累加测验，星官度数，《仪象志》尚多未合。又星之次第，多不顺序，亦宜厘正。于是逐星测量，推其度数，观其形象，序其次第，著之于图。计三垣二十八宿，星名与古同者，总二百七十七座、一千三百一十九星，比《仪象志》多十八座、一百九十星。与《步天歌》为近。

清楚地叙述了这次恒星观测工作是为对《灵台仪象志》进行修订而进行的，其所得结果在星数上与《步天歌》较为接近。该卷中还对各星官的概况做了叙述。卷后还附有星图3幅，它们分别是《恒星全图》、《赤道北恒星图》和《赤道南恒星图》，对全天的星官做了较为清晰的描绘。从卷二到卷十三是《恒星黄道经纬度表》。它以黄道十二宫的顺序按各星的黄道经度的数值从小到大依次列出了3 083颗恒星的黄道经纬度数据、赤道经纬度数据、赤道岁差值和星等。其中“又于有名常数之外增一千六百一十四星，按其次序，分注方位，以备稽考。又近南极星二十三官、一百五十星，中国所不见，悉仍西测之旧。”[1]这些传统恒星以外的1 764颗星，比《灵台仪象志》又有了较大幅度的增加。近南极的恒星名称当是西名的直译，其他增加的恒星名称则是以其在某一传统恒星附近而确定的，即将其称为该星的增星并注以其位置所在方向和增星的编号，例如“井宿北增三”、“座旗南增四”等。各星的黄道经纬度、赤道经纬度均给到角秒数。其黄、赤道经度数据均是以黄道或赤道上十二宫的起点处起算的，数据上注以用十二地支表示的宫名，因该宫名排列的次序是从东向西的，它实际上与十二辰基本相当。由于该表中也有赤道经纬度数据，各卷的题名上均附有“赤道度附”字样。在卷二的开始处还有一篇题为“恒星黄、赤经纬度




---

① 《仪象考成》正文前所附和硕庄亲王允禄等人所写的奏议中语。

表"的说明，指出："恒星循黄道东行，每年五十一秒。纬度终古不改，而经度之差有常。""今以乾隆九年甲子恒星黄赤经纬度，依黄道次序列恒星黄道经纬度表，而以赤道经纬附之。依赤道次序列恒星赤道经纬度表，而以黄道经纬附之。各将赤道岁差列于其下。黄道以便推算，赤道以便测量。历象之用于斯备矣。"这里乾隆九年(1744)就是该星表的历元。可以通过每年在恒星黄道经度上增加51″近似地得到相应年份的黄道经度值，黄道纬度则仍取原值，"黄道以便推算"就是指使用黄道坐标时进行如此简便的岁差改正就能得到相应年份的对应值。该书的卷十四至卷二十五则是《恒星赤道经纬度表》，其内容与《恒星黄道经纬度表》基本相同，只是按照赤道十二宫的顺序以赤道经度从小到大进行了重新的排列，在各星的赤道经纬度数据下则列有相应的黄道经纬度数据。这就是"依赤道次序列《恒星赤道经纬度表》，而以《黄道经纬》附之。"两表中各星均列有赤道岁差值，将其逐年在相应赤道经纬度中加上或减去就可得到相应年份该星的赤道经纬度值。赤道岁差值数据给到了"微"即1/60秒，看来有关的计算还是相当精细的。从"赤道以便测量"的记述来看，这里所给出的赤道经纬度数据可能与《灵台仪象志》星表中的某些数据类似，只不过是工作星表，并非由实际观测所得到的。该书的卷二十六是《月五星相距恒星经纬度表》，它实际上就是在黄道南北各10度的范围内的恒星黄、赤道经纬度表，其数据均取自前表，依黄道十二宫顺序排列，也附有赤道岁差、星等数据。卷二十七至卷三十是《天汉经纬度表》，它实际上是通过给出银河的一系列黄、赤道经纬度数据以描绘其大致的宽度、走向、分叉等情况，这与星表实际上并无太大的关系。

## 二、《仪象考成》星表数据分析





由于《仪象考成》星表中的恒星位置数据均给出了角秒数，而当时官方天文机构中使用的观测仪器上并无测微装置，也没有装设望远镜，仅凭肉眼的直接观测是不可能读出恒星位置数据中的角秒数的。潘鼐的《中国恒星观测史》中对此进行了分析，他指出《仪象考成》的撰修过程中负责考测的只有戴进贤、刘松龄、鲍友管3人，而负责推算者则多达14人。从工作量上判断，考测只是将西方星表以中国星名考订而改编之并根据其数据做校对观测而已。看来是很有道理的。然而潘鼐又谈到，1602年的《第谷星表》、1690年《赫韦吕斯[①]星表》中的恒星位置数据只给出了角分数，到1725年出版了英国格林尼治天文台首任台长弗兰斯提德(J. Flamsteed，1646—1719)编制的星表，精度才有了很大的提高，其后的《布拉德雷(J. Bradley，1693—1762)星表》和《贝塞耳(F. W. Bessel，1784—1846)星表》则又比《仪

① J. Hered或Hevelius，也译作赫维留，1611—1687年，波兰业余天文学家。



象考成》的出版年代晚，故从时间上排比和星表数据给出了角秒数的情况来看，《仪象考成》星表是以《弗兰斯提德星表》作为编制的基础的。但由于前者比后者多出了一百数十颗星(后者包含的恒星数为 2 935 颗，且有 12 颗是重复给出的)，要解释这些恒星数据是怎样得到的是一个有待解决的问题。实际上要断定《仪象考成》星表是否脱胎于《弗兰斯提德星表》最有效的方法是将两者的数据进行比较，在发现前者的数据只是后者加上岁差改正后的结果的确凿证据以前我们尚不能贸然做出结论。看来尚不能排除前者的数据确是使用当时官方的天文观测仪器通过实测得到的可能性。人们得到的数据虽然只能直接读到 15″，但通过估读可以读到更小的数，例如数角秒，而在用岁差公式将其从对应的观测历元归算到对应于星表的历元也有可能得到角秒数。由于当时可能对观测数据的推算中有效位数尚无明确的规定，人们并未认识到这样得到的角秒数并不精确，但这是当时的历史条件所决定了的，并不能因此而否定这一可能性。从潘鼐对《仪象考成》星表的精度分析情况来看，这一可能性还是相当大的。

潘鼐在《中国恒星观测史》一书中谈及对其二十八宿距星的赤道经纬度进行了校算，其结果是赤道经度数据的偏离除少数较小以外绝大部分都达数十角秒，有的甚至超过 1′，其平均偏离为 51″.8，剔除个别偏差特大者后的平均偏离也有 37″.5；赤道纬度数据的偏离则相对较小，但也还是有超过 1′的，其平均偏离为 16″.5，剔除偏差特大者则为 13″.9，与对《灵台仪象志》星表所做的精度分析类似。潘鼐也抽样校算了 36 颗恒星的黄道经纬度数据，得到其平均偏离分别是 1′3″.3 和 35″.9，均明显比二十八宿距星赤道经纬度的数据差。潘鼐据此认为这证实了《仪象考成》星表是依《弗兰斯提德星表》的赤道坐标值归算而得到的，而黄道经纬度则是用不精确的常数和计算方法由赤道经纬度归算而得，故精度较差。这一看法还是值得商榷的，因为这里的精度比较是在不同对象之间进行的，它并不能说明整个星表均是赤道坐标值比黄道坐标值精确。在利用岁差公式将某一星表中的数据近似地换算为对应于另一星表历元时使用黄道坐际值更为方便，《灵台仪象志》星表中的一些数据就是这样得到的，由赤道坐标数据归算似为舍易就难。二十八宿赤道坐标数据的平均偏离比抽样校算的黄道坐标数据的小，在《灵台仪象志》星表中也存在，出现这种情况可能是另有原因，而难以用数据来源及归算不当来解释。看来要得到圆满的答案尚需深入一步的研究。从潘鼐精度分析的结果看来，《仪象考成》星表的精度比《灵台仪象志》星表有较大的提高，但其平均偏离的范围是从十几角秒到数十角秒，表明其虽然给出了各位置的角秒数，但其有效数字实际上只达到 10 角秒的数量级，利用最小刻度为 15″的观测仪器进行估读是应该能达到这样的精度水平的。当然，要做出肯定的结论尚为时过早，只有对《仪象考成》星表中数据的偏离情




况及其与西方星表的关系进行细致的研究才能得到最后的结论。

## 三、《仪象考成续编》星表

《仪象考成续编》反映了在道光年间所进行的清代官方第三次恒星位置测量的情况。由于这次测量基本上只是对《仪象考成》星表中恒星位置的重新测量，故该书的格局与《仪象考成》基本相同。除《仪象考成》中卷首两卷是对玑衡抚辰仪的介绍而该书中没有必要重复外，其他各项内容在该书中均以相同的卷数予以保留，另外还增加了《经星汇考》、《星图步天歌》各一卷，使各卷总数仍为三十二卷。其中《黄道经纬度表》、《赤道经纬度表》各十二卷中的恒星位置数据均是采用玑衡抚辰仪重新进行观测得到的。但其恒星数目稍有增加，对《仪象考成》中“按赤道经度测得星体略大，书中未载者”共 163 颗恒星的位置数据给予了补充；但也有几颗恒星为“书中原载，考测未见者”，并因此而剔除了 6 颗星，故实际增加了 157 颗，使《仪象考成》星表中的 3 083 颗恒星增至 3 240 颗。除此之外，在恒星观测的过程中还观测了“星体较小者，共多增六百余星”[①]从而使观测的恒星总数达 3 800 余颗，但这 600 多颗暗星的经纬度数据均未在《仪象考成续编》中刊出，“另册存记，以备考查”，然而这些珍贵资料已经难以寻觅，无从考查了。惜哉！这些恒星位置表中所使用的星名或其在星官中的编号均沿袭了《仪象考成》星表，只有增加了的恒星是使用了新的名称。这些星名在光绪二十五年(1899)重修完成的《清会典》中仍在使用，只是在一些增星的名称中删去了表示该星在星官中所处方位的字样。这是中国传统星名系统发展到最后所呈现的样式，人们在研究中国传统星名与现代通用的西方星名的对应情况时，常要以其作为基础。早在 20 世纪初，在我国上海当时由法国天主教会主办的佘山观象台工作的日本学者土桥八千太就曾主持将《仪象考成》翻译成法文，并将恒星的赤道经纬度用岁差公式归算成公元 1875 年的历元，以与西方星表进行对照，证认了其中的 2 614 颗恒星，其中西星名对照的图表具有相当大的影响，被人们多次引用。20 世纪 80 年代初伊世同编绘《中西对照恒星图表》[②]也是以《仪象考成》和《仪象考成续编》为依据的，在国内外天文史界也具有一定的影响。由此可见，《仪象考成》及《仪象考成续编》中的星名系统对研究中西星名的对应情况是具有重要意义的。然而由于西方来华的传教士在进行恒星测量的过程中并未认真对中国传统的星名进行证认，只是与当时已有的西方星表、星图进行大致的比对，故从明末《崇祯历书》星表开始各星的名称有些已与传统所指的恒星产生了偏差，到《仪象考成》时这一情况又有所发展，故《仪象考成》、《仪象考成续





① 引文均见道光二十四年十一月十五日敬征等人的奏折。

② 伊世同:《中西对照恒星图表》，科学出版社，1981 年。



编》中的星名系统并不能反映传统的中国星名。为此,潘鼐在《中国恒星观测史》一书中明确指出:“过分重视《仪象考成》及《仪象考成续编》,将其奉作中国星名的圭臬,无疑是不适当的。现所用星名,视为将星空区而分之,当作 200 年来中名的称谓与编号诚可;然而约近半数业已与古昔长期所指认的,南辕而北辙,名实并不相符,故如取以代表古老的传统,则大谬不然。”这是很有见地的。在涉及中国古代星名的一些研究工作中务必要注意这个问题,如以《仪象考成》、《仪象考成续编》中的星名来硬套,则在对古代天象资料的现代应用中就有可能出现差错。

与《仪象考成》相仿,《仪象考成续编》中的位置数据均给到了角秒数。由于这次是用玑衡抚辰仪对恒星的位置进行重新考测,而这台仪器上的刻度情况与南怀仁所制天文观测仪器的大致相仿,其给出角秒数似乎证实了《仪象考成》中的恒星位置数据是由后者观测得到的可能性。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中对《仪象考成续编》中所载二十八宿距星的赤道经纬度数据进行了精度分析,得到其与计算值之间的平均偏离分别为 $2'1''.7$ 和 $41''.6$,这与《仪象考成》中相应的数据比较要糟得多。潘鼐认为这是由于后者系由西方《弗兰提斯德星表》脱胎而得,而该星表因用带望远镜的近代观测仪器取得,又对各种误差进行了修正,故其精度相对较高,而玑衡抚辰仪上未配望远镜,与经典仪器相比改进不多,故所得结果之精度难以与前者相比。看来这也是言之成理的。不过,从《仪象考成续编》二十八宿距星赤道经度数据与计算值的偏离绝大多数为正值的情况看来其中很可能存在一定的系统误差,在对其各数据进行全面深入的分析研究之前尚难以做出肯定的结论。然而将其与已知确实是国内通过实测得到的《崇祯历书》星表相比(《灵台仪象志》星表是由《崇祯历书》星表加岁差改正而得,《仪象考成》星表可能源于西方星表,故未予考虑),其观测精度还是有了相当的提高的。





《仪象考成续编》中所列各恒星的星等数据也是经过实测的。其所得结果有 143 颗恒星的星等数与《仪象考成》星表中所列不同。其中有的原列为 3 等星,现测为 5、6 等,也有原列 6 等者现测为 4 等,但大部分差异不是太大。该书作者认为这可能是恒星本身的亮度或距离远近发生了变化,虽然似有道理,但除去新星、变星等亮度会有较大变化外,大部分肉眼观察到的恒星亮度的变化不可能如此明显,恒星与观测者距离的变化相对于该距离本身而言也是很小的,也不可能引起其亮度在短时期内发生变化,故其对所测星等的差异所做的解释是不科学的。看来观测设备的简陋,仅凭肉眼观察估计恒星的星等其误差在所难免是该差异出现的主要原因。观测条件例如天气的变化、天空中局部有不明显的云等类似的情况也有可能造成观测到的星等数与实际有明显的出入。然而认为恒星的亮度和距离都会有变化的看法倒是近现代天文学中的正确概念。《仪象考成续编》中对岁差现象的

认识也有了一定的进步:“至若恒星黄道,古谓纬度不移,西法亦谓之终古不动,而今之实测,皆与前表不合。”“盖黄赤大距既已古远今近,则周天恒星必不能俱随其式而迁。恒星既不能随黄道之式而迁,则距黄道之纬度宜其有变矣。”人们不但从观测数据上的差异判断恒星的黄纬会随岁差而发生变化,而且从黄赤交角随年代推移而产生的变化来推论这一现象的起因,看来是很有道理的。中国古代的黄赤交角值原取为 24 古度[①],这相当于 23°39′,以后一直采用这一数值,但在历法推算、太阳高度测量等方面各时代均另采用一更为准确的数据。在《元史・天文志一》中谈及郭守敬所制作的浑象时记有:“黄道出入赤道内外各二十四度弱”,这相当于 23°34′。清初从明末《崇祯历书》改编的《西洋新法历书》中该值又取为 23°31′30″,以后《历象考成》、《仪象考成》又分别取为 23°29′30″和 23°29′,《仪象考成续编》中的实测值则为 23°27′。由于黄赤交角的变化呈现从大向小的变化,而恒星并未均随黄道的位移而有相应的移动,这就应出现恒星黄纬值的变化。以上事实表明人们对行星岁差引起的恒星黄纬的影响已经有了相当明确的了解。《仪象考成续编》中对恒星的黄经变化也有议论:“若夫黄道经度,其差自古均齐,由今考之,各星亦有微异。”“考之近年实测,各星迅速微差,然则盈缩之说恒星亦宜为有,第由星行高卑之微而致。”由于行星岁差现象使黄极发生了位移,这除了使春分点在黄道上的位置有了变化,从而对所有恒星的黄经有相同的影响外,也对在不同位置上的恒星之黄经产生不同的附加影响。故上述议论中认为黄道经度各星有“微异”、“迟速微差”是有道理的。这一附加影响对高黄纬的恒星尤为显著,故“第由星行高卑之微而致”也与实际情况相去不多。可见其认识还是相当科学的。潘鼐在其所著《中国恒星观测史》中认为上述议论是指“恒星运行所导致的远则视现象慢,近则视现象快的自行概念,表达了恒星是运动着的天体,打破了恒星是固定的和静止不动的旧观念”,看来似乎有些勉强。然而由于早在 1718 年英国天文学家哈雷就已经发现了恒星的自行,当时这一概念已经传入我国倒是十分可能的。



与《仪象考成》类似,《仪象考成续编》中也附有星图。它们分别是《赤道南北星图》、《恒星全图》和《天汉全图》三幅总图,另有按三垣二十八宿划分的三十一幅分区星图。与分区星图相配合,书中还附有一首新编的《步天歌》,它与我们在第五章中所谈到的《步天歌》有异曲同工之妙。据记述,它是康熙五十八年(1719)钦天监博士何君藩编撰的。歌词以三垣二十八宿的次序,叙述了各星的位置情况,其语句通俗,叙述清晰,押韵易读,但因流传不广,也就难以产生什么影响。

在《仪象考成续编》以后,光绪年间续修的《清会典》中也有一份星表,其历元是

① 张衡所写的《浑仪》一文中就有“黄道斜带其腹,出赤道表里各二十四度”的记述。



光绪十二年(1886)冬至子夜，其恒星位置数据均为将《仪象考成续编》中的值加上岁差改正而得，其科学意义也就不是很大。

## 第十节　清代测时星表

随着人们对恒星位置的逐步掌握，利用某些恒星周日视运动情况来确定夜间的时刻就成为可能的事情了。早在唐代人们就已经这样做了。由于在日常生活中人们所使用的时刻是依据太阳的周日视运动情况来确定的，而太阳又在恒星之间有一周年的视运动，故在一年中各天的某一特定时刻同一颗恒星在天空中的位置也是互不相同的。要观察恒星的周日视运动来确定时刻就需要知道在一年中不同日期时的恒星位置变化的情况，测时星表就是反映了这一变化情况的专用星表。据《新唐书·历志四上》记述，唐代著名天文学家一行主持编制的大衍历中就有推算昏中星、晓中星和五夜中星的内容。这实际上是根据各天中太阳在恒星间的位置来推求黄昏、黎明和夜间各更时恒星(通常是指二十八宿)之间的哪一个位置恰在当地的子午圈上。宋代的某些历法也有相应的内容。《宋史·律历志十二》中所收的《纪元历》中甚至有"求昏晓五更及攒点中星"的内容，将推算更进一步细致化，即夜间时刻取到各点(每更分为5点)。这些推算实际上都是建立在人们对恒星位置的情况有了相对充分了解的基础上的，其推算结果如果列成表册也就与测时星表相当，只是其所使用的不是恒星，而是恒星之间的各个位置，但其情况是大体相同的。

### 一、《中星谱》




清初康熙八年(1669)胡亶所著的《中星谱》就是一部较早的测时星表。它列出了在二十四节气时45颗恒星上中天的时刻。由于有些恒星的上中天是在白天，人们无法观测到，故只列出了各节气时恒星在日没以后、日入之前上中天的时刻。对于不同纬度的地方太阳出没的时刻也有差异，故所列的恒星也会小有差异，该书中是以顺天府(即今北京附近的某一区划)为标准的，在列出某一节气，各星上中天时刻以前给出了当地的昼夜刻数、太阳出没时刻、昏旦时刻，在这些星上中天时刻之后作为附记给出了浙江省的相应数据以备参考。除作为京城的顺天府外，只给出浙江的数据，大概是因为胡亶是浙江仁和县人的缘故。45颗恒星都是距离黄道、天赤道不太远者，它们除二十八宿的距星以外还选取了大角、贯索大星、天市垣帝座星、织女星、河鼓中星、天津大星、北落师门、土司空、天囷大星、五车大星、参左肩、参右足、天狼、南河南星、北河南星、轩辕大星、太微垣五帝座中央星共17颗恒

星。表示其上中天时刻是采用将一天划分为十二个时辰,每个时辰又划分为时初、时正两部分,分别又再分为4刻,用初刻、一刻、二刻、三刻称呼。每刻又分为15分。这就与传统的将一天划分为100刻的做法不同了,而与今天将一昼夜划分为24小时,每小时4刻,每刻15分钟的方法基本类同。其所表示的恒星上中天时刻值均为地方时。当时的疆域与现在大小相仿,各地的地方时相差最大仅三四小时,而一昼夜太阳在恒星之间位置仅变化1°左右,这相当于经一昼夜后恒星上中天的时刻约变化4分钟,故所列时刻值对各地来说基本上都是适用的,因此而产生的误差最大也只有半分钟左右。在其恒星上中天时刻精确到分的情况下不会有明显的影响。在列出相应数据以前有一篇名为"中星谱发凡"的前言,对与其内容有关的问题做了较为精辟的说明,指出:"星宿出入地平皆有定时,但各省各节刻数不同。惟正中之时刻无二,亦如日出、日入各处时刻不同,惟日中皆为午正初刻也。"将恒星上中天时刻处处相同的道理大体上说得较为清楚。它还谈到:"谱内所录中星时刻皆指节气、中气之第一日也,若次日则星行天一周而又西逾约一度,即须于本星时刻内减十五分刻之四弱,以验其中,从此递日减之,以至次节。"明确指出虽然只对二十四个节气日列出了日没后到日出前这段时间内某些恒星上中天的时刻,但通过逐日递减$3\frac{11}{12}$分钟的办法,仍然可以得到每天的相应时刻数据。对于白天的情况,则记述有"若欲并知昼时中星,第检隔半年后对待节气谱内于各星下时刻数,其相冲时刻即半年前节气之昼时星中也。所以然者,半年后节气之夜与半年前节气之昼长短数同,此正星回于天,适半周之候故也。"将方法与原理均说得十分清楚。在列出恒星上中天时刻数据之后,书中还给出了这45颗恒星的赤道经纬度数据和二十四节气时昏旦时刻天赤道上对应的上中天位置处的度分数。前者以一周天360度计算,每度又分为100分,数据也只给到分。其恒星的赤道经度与清代星表中的习惯做法相同,分别从其所在的十二宫的起点处起算。后者则以弱、强、少、半、太的字眼表示其二十八宿的入宿度数据至$\frac{1}{12}$度,这里的度是将一周天划分为$365\frac{1}{4}$度,每度也分为100分。其后还有星图及其说明"星图发凡"一篇。

纵观全书,《中星谱》所给出的是恒星的上中天与节气、时刻之间的关系。当观测到某一恒星上中天时,只要知道了节气就能知道当时所处的时刻;反过来,由计时工具知道了时刻也能判断出当时所处的节气。但由于节气通常可以使用圭表或浑仪相当精确地观测得到,人们认为《中星谱》的主要用途是通过观测恒星的上中天来确定时刻的,它确系一部测时的专用星表。表中的时刻数据精确到分,这与当时计时仪器的精度基本上是相应的,可以满足当时社会生产发展的需要。由于《中



星谱》中选用的恒星不多，其原理也相当科学，简单易行，误差又不大，也就易于被人们所接受。当时官方天文机构钦天监每年颁布一份《中星更录》和以后一些学者的著作中均采用了相似的做法，表明它还是具有相当的影响的。

## 二、徐朝俊的中星表

嘉庆元年(1796)徐朝俊编著了一种中星表，也同样是选用了45颗恒星，以二十四节气为引数列出了它们上中天的时刻。其时刻的表示方式与胡亶的《中星谱》基本类似，但形式上更为简练。其时刻数分左右书写，右边为时，如丑初、亥正等；左边则是刻分数，刻数用大字写在上方，下方小数则为分数，例如 $\frac{\text{二}}{\text{二十}}$、$\frac{\text{初}}{\text{五}}$则分别表示二刻二十分、初刻五分。中星表分前册与后册两部分，分别列出春分至白露、秋分至惊蛰各十二个节气的相应数据，数据横向按恒星的赤经从小到大排列，纵向则依节气的次序排列。根据当时所处的节气就可以十分方便地查得各恒星上中天的时刻，一目了然。与《中星谱》只列出日没后日出前恒星上中天的时刻不同，该中星表中列出了全天中恒星上中天的时刻。表中还以“相距时刻分数表”的栏目列出了用时刻单位表示的相邻两星的赤经差值，这种在近现代天文学中通用表示的方式在我国古代是从未出现过的，该表是运用最早的。这样只要知道某一颗星上中天的时刻就可用它依次推算出其他星的相应时刻。这表明当时人们已经充分了解到各恒星上中天时刻与其赤经差之间的关系了，并以此来进行了相应的推算，故各星表列上中天时刻值之间的差异均符合这一关系。这对表列值的推算或勘误提供了方便。徐朝俊的中星表被收集在他于嘉庆十二年(1807)刊印的著作《高厚蒙求》的第三集中，成为该集中第二目“星月测时”的重要内容。在中星表的前面分别有“中星表用法二则”、“四十五大星图”两节。前者为关于中星表使用方法的说明。它谈到利用该表可以通过观测恒星的上中天来确定当时的时刻，也可在白天时由日晷或钟表得到的时刻来确定当时上中天的恒星，并旋转浑仪或星图来推定各恒星在天空中的位置。后者则分别绘制了用来观测的45颗恒星所在星官各成员星的排列形状，各星按其星等用六种不同的符号表示，并注有各星在星官中的编号，这为辨认观测目标提供了相应的依据。在中星表的后面则叙述了徐朝俊设计的一种观测恒星上中天时使用的小型天文仪器，他称其为中星仪。它是采用三盘同心相叠的结构，三盘上因分别有节气、恒星、时刻的标志而分别称为节气盘、恒星盘和时刻盘。通过调节节气盘与恒星盘的相对位置可以使其与观测时的天象情况相应，以大体适应岁差现象对恒星位置所造成的影响。当观测到某一恒星上中天时，即旋转恒星盘使该星与时刻盘上的午时对应，这时由当时节气在节气盘上的位置就可读出相应的时刻盘上的读数，从而知道当时的夜间时刻。反过来，知道了时刻也能





由它来查得当时何星上中天，并进而了解各恒星在天空中的位置情况。由于该仪器并无用于瞄准恒星的部件，观测恒星的上中天实际上是用肉眼估测，故其精度并不太高，它充其量只是观测恒星来确定时间的一种辅助仪器，但其原理还是较为合理的。由于仪器的结构并非我们的兴趣所在，这里也就不必涉及了。恒星盘上所绘恒星图形也主要是给出了45颗恒星的位置，这与中星表倒是符合的。在介绍了中星仪后，徐朝俊有一段关于中星表的叙述：

> 丙辰岁春夏间，偶检泰西汤若望恒星出没表，与列星较对，舛错甚多。此非作者之讹，传写之误也。夫书关数学，无文义可通，是鲁是鱼，难以意会，学者每执书以求象，往往相印而不能符。俊用将周天三百六十五度四分度之一归除昼夜十二时，得一千四百四十分。又撮四十五大星彼此距度若干，归出距时几刻几分，先定准的，然后逐刻逐分，算明较录，并将某宿某星距时分刻，标出筒端。俾言天者欲定中星随时可改，非妄作也。区区之忱，惟欲使异目钞胥即有谬讹，其差可立见耳。

对该表中使用时刻单位表示相邻恒星间的赤经差的做法所起的作用给予了清楚的说明，是很有道理的。在中国天文学史整理研究小组编著的《中国天文学史》一书中曾经指出："直到嘉庆元年（1796）才有新的表出现。那就是徐朝俊所著《星月测时》一文中的中星表，这份表是根据汤若望的恒星出没表归算的。汤若望表是一百年前的东西了。徐朝俊表的误差不可能不大。据推算，其误差有达十多分钟的。"其认为徐朝俊的《中星表》来源于汤若望的恒星出没表，可能就是根据上面所引徐朝俊这段叙述最前面的几句话，但仅据此尚难肯定就是完全如此。从叙述中我们可以看到他曾对汤若望的表进行过校对观测，发现其中有一些错讹之处。在中星表与关于中星仪的叙述之间也有一段说明文字，谈到：





> 前表就泰西汤若望元本点窜厘订，以验岁差，以求日躔，又化各星之度分为时刻分数，为推步家修改中星捷法。但既改中星，则时刻亦不能不改，后之人欲举以为例，前变通之，则作表之法与作表之源均不可不知者也。余为汤君作千古计，覃思久久，乃因表而作中星仪，并备列其图法如左。

可知在列表的过程中徐朝俊似已对岁差现象的影响有所考虑。由于岁差现象对恒星赤经的影响相对而言还是比较小的，对黄、赤道附近的恒星而言，在100年里其影响最大也只有1°多，这可能会产生数分钟的误差，在已考虑岁差影响的情况下其误差当然还要小得多。其数据误差出现达10多分钟的情况很可能是另有原因。徐朝俊观测恒星的上中天是以肉眼估测，其误差必然也较大，看来是可能的原因之一。



## 三、张作楠的测时星表

道光年间，浙江金华张作楠也编制过一些测时星表，它们分别是《新测中星图表》、《新测更漏中星表》、《金华晷漏中星表》。其大致情况与上述两部测时星表基本类似，所选用的45颗恒星也完全相同。在《新测中星图表》中谈到：

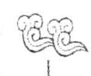
> 量晷景、测中星为验时之要，而中星则有岁差，故汤若望之中星表、胡亶之《中星谱》验以今测，时刻已差十分矣。兹以道光癸未冬至天正星度为定，推得七十二候各中星时刻以立表，而冠以四十五大星图，并附各星赤道经度、岁差表、中星时刻日差表、太阳黄赤升度表、二十八宿黄赤积度表，俾仰测者逐年逐日依法加减，可以中星求时刻，可以时刻验中星，亦初学一助也。

对编制该星表的目的和有关情况做了简明的叙述。该星表的历元对应于清道光三年(1823)的冬至。将二十四节气又各分为三段，即将一年划分为七十二个时间段，分别以此为引数列出了各星中天的时刻。时刻数精确到了秒数。可见该表不但列出的数据比前述两部测时星表多了两倍，而且数据的精确度也有了提高，使人们能更为简便而精确地通过观测恒星的中天确定当时的时刻。在中星表的前面有一幅“四十五大星图”，以北天极为中心，将选用的45颗恒星所在的星官绘在一圆形的星图上。该图的情况与前述徐朝俊的中星仪颇为相像：

> 右图凡三层，外为时刻圈，不动，次节气圈与内层星盘合为一，令可转移。如有中星求时刻，移星盘令方中星当午正线，视本日节气点切何时刻即得。有时刻求中星，将本日节气点切时刻线，视午正线当某星即得。

看来，它比徐朝俊的中星仪似更简便，在结构上只是将后者稍加改变，使其作为内盘的时刻盘放在外盘的位置上即成。其星象位置是对应于道光三年的，但由其记述中有“癸未以后各按岁差移节气圈就之”可知，节气圈与星盘之间的相对位置也是可以调节以适应岁差的影响。中星表以后所附“中星时刻日差表”列出了由表列日期的中星时刻推算其后1至4天的中星时刻所需减去的改正量。表中从春、秋分开始对各时间段分别给出4个精确到秒的数据，它们实际上是相应日期的真太阳日和真恒星日长度之差的反映。“太阳黄赤升度表”则实际上是将黄道经度换算成赤道经度的表，它从春分点开始以黄道经度的整度数为引数列出了相应的赤道经度值，后者精确到角秒数。“四十五大星赤道经度岁差表”则以道光三年为历元给出了各恒星的赤道经度数据（精确到角秒）、年赤经岁差值$\left(\text{精确到微，即}\frac{1}{60}\text{角秒}\right)$、变时（即以时间单位表示的年赤经岁差值，精确到微，即1/60时秒）和星等。“二十八宿赤道积度”则列出了二十八宿在道光三年时的宿度





值，精确到角秒，并列出了该值每年的变化值。以上这些附表对推求不同日期恒星中天的相应时刻提供了方便。

张作楠所著《新测更漏中星表》则与以前的测时星表有明显的不同。它采取了与当时钦天监颁布的《中星更录》类似的编排方式："励斋胡氏《中星谱》以列宿为主，所纪为星座正中时刻。现行《中星更录》则以更漏时刻为主，故所纪中星有偏东、偏西之度。彼此互求，不爽分秒，以星分夜两端可概矣。"其表列值分别给出了一年中不同节气时太阳出没时刻、夜间各更次所对应的时辰刻分数和该时刻时在子午线附近的恒星偏东或偏西的角度。其夜间更次除分为五更外还列出了昏刻、攒点、旦刻三个时刻，其中攒点是指日出前 9 刻，昏刻和旦刻则分别是日入、日出时刻加上和减去朦影刻分。所谓朦影刻分则是指太阳在未出前、已入后于地平线下18°到日出、没时刻之间的时间段。由于在不同节气时太阳的周日视运动轨道也不同，太阳从地平下 18°到地平所需的时间也就有差异，再加上昼夜长短在一年中随节气而变化，故这些夜间时刻所对应的时辰刻分数在一年中是存在相当大的差异的。对于不同纬度的地方，由于太阳出没时刻不同，朦影刻分长短也有差异，故表列夜间时刻对应的时辰刻分也就互不相同。张作楠在《新测更漏中星表》中除列出了京师(即北京)的有关数据外，还附有江南(即江苏南京)、浙江(即杭州)的相应数据表。表列值中的时辰刻分数精确到时秒，而恒星与子午线的角距离则以少、半、太字眼给出了精确到 1/4 角分的数据。与浙江金华相应的数据则在《金华晷漏中星表》中给出，其情况与上述相似。在该书中还给出了在金华相应日期时两种日晷表影长度的数据，但这与星表就没有什么关系了。张作楠还编著过一部《新测恒星图表》。这是一部汇集了其挚友江临泰根据乾隆九年(1744)恒星观测的数据(即《仪象考成》中的数据)加上岁差改正归算到对应于道光三年(1823)冬至时的结果。表中列出了各星的黄道经度、黄道纬度、赤道经度、赤经岁差、赤道纬度、赤纬岁差和星等数据，各经纬度值均精确到秒，岁差值则精确到微(即 1/60 秒)。由于这一恒星位置表在学术上并无太多的创新，其影响也并不太大，故也无须多说了。



在张作楠前后也曾出现过另一些测时星表，例如有刘文澜的《中星全表》三卷、冯桂芬的《咸丰元年中星表》一卷、江临泰的《中星图表》、李德炯的《浙川更漏中星表》、吴中顺的《中星图表》一卷、贾世西著《中星表》、董桂科的《中星更录》等，其中有些已经难以寻觅了，但看来其情况与前述测时星表相差不会太多，这里也无须逐一予以叙述。总的看来，这些测时星表是西方天文测时技术尚未传入我国之前的产物，具有相当浓厚的中国传统天文学的特点。人们继承了汉代甚至更早时观测昏、旦中星以确定节气的传统方法，将观测恒星的中天与节气、时刻联系在一起，创造了在一年中不同日期的恒星中天与时刻的互相推求的方法，也就产生了这一类



测时星表。它们不是独立的星表，而是根据通过观测恒星位置得到的其他星表归算而来的，它实际上只是一种工作星表。由于当时人们已经从西方天文学中掌握了较为精确的岁差计算的方法，使这一星表的推算有可能具有相当的精度水平，故也可视其为中西天文学融合的结晶。其在星表工作中虽然并无太大的意义，但在我国古代实用天文学的发展方面却是迈出了新的一步，使夜间测时的水平有了明显的提高，这是应予肯定的。





# 第七章　中国古代星图

星图是对恒星相对位置情况最直接也是最形象的表征。通常人们是根据恒星的位置数据将它们绘制成图形，有的还注上恒星星座名称及在星座中各成员星的编号，从而可以用来方便地用以辨认天空中的各恒星。它直接反映了人们从事恒星观测工作的成果，但同样也是天文观测工作中基本的工具之一。故星图的绘制工作也是天文学发展过程中一直受到重视的一项基础工作。

中国古代早就开始了星图的绘制工作，历史上也有相当数量的古代星图留存了下来，它们是我国宝贵的天文学遗产中的一部分，具有相当重要的学术意义。中国古代的星图从其性质上大致可以分为专业性星图和象征性星图两类。前者是天文工作者劳动成果的结晶，也是人们学习、掌握星象位置情况和从事天文观测工作不可或缺的重要文献资料。它们有的是直接绘在纸上的，有的则是某些天文著作刊印的附图，还有些是勒石为碑，但不管如何，它们都比较严谨规范，学术性较强，充分地反映了历史上各时代天文学发展的水平。后者则多见于古代建筑和墓葬中，其所绘或刻制的星图实际上就是至高无上的天的象征，墓葬中的星图更反映了人们祈望死者升天的心愿。有的星图甚至只具有装饰性的意义，并不严格反映各恒星之间的相对位置情况。相对来说，这类星图的学术意义自然逊于前者，但它们确实也能反映人们心目中对星空大致情况的了解，体现了当时天文学知识的普及水平，故对它们也不能过于轻视。





在这一章内我们将重点对中国历史上的专业性星图进行探讨，对一些重要的象征性星图的情况也将做些必要的介绍。

## 第一节　历史最悠久的星图——盖图

远古时代，先民们观察到恒星的相对位置情况，就会将其描绘下来。按通常意义来说，这也就是最原始的星图。我们在第三章中曾经提到过，河南省郑州市大河村新石器时代文化遗址出土的绘有象征着星座图案的陶片，江苏省连云港市将军崖岩画中用圆点表示的星星图像，均可划入这一范畴。只是其所表现的主要是若干恒星的排列形状，甚至只具有象征意义，通过它人们并不能对恒星的相对位置情况有一全面清楚的了解。



## 一、《周髀算经》中的盖图

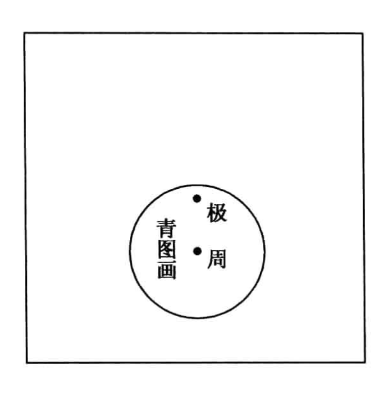
通常认为，盖图是我国历史上最早的星图。所谓盖图是与盖天说相关的一种图。早期的盖图实物并无留存，史籍中也未对其做系统的介绍，故对其具体情况还不能说已经研究清楚了。但在《周髀算经》卷上之三中有三国时数学家赵爽的一段注文，其中就有盖图的有关叙述："七衡图：青图画者，……日入青图画内，谓之日出，出青图画外，谓之日入。青图画之内外皆天也，北辰正居天之中央。……黄图画者，黄道也，二十八宿列焉，日月星辰躔焉。使青图在上不动，贯其极而转之，即交矣。"钱宝琮在《盖天说源流考》[①]一文中对这段叙述进行了研究，他指出所谓"青图画"就是在一幅正方形的丝织品上以一代表观测者位置的点为圆心、半径为一尺六寸七分(代表167 000里)的一个圆，并涂上青颜色，用以表示观测者所看到的天空范围，看来这与星图是没有多大关系的。至于"黄图画"则是在另一幅正方形的丝织品上以代表北天极的点为圆心所画的7个同心圆，其最小的圆称为内衡，最大者则是外衡，在内衡、外衡之间涂上黄颜色，并称其为"黄道"(这与以后作为太阳周年视运动轨迹的黄道概念不同)，"在黄道内外绘出二十八宿和其他星象于适当的地位。这是一张以北极为中心的星图"。在青图画上也有一个与北天极相应的点，用一根轴将这两张图上的北天极点贯穿起来，就能透过青图画看到黄图画上在其范围内的星象，将黄图画顺时针旋转，透过青图画看到的星象就有变化，从而可以看出一年中不同季节时太阳出没的方向和夜间可以观察到的星象。由于黄图画是用7个同心圆将"黄道"分为六个区域，这又称为七衡六间图。钱宝琮认为这是主张盖天说的天文学家所用的一种仪器，后来人们称其为盖图(如图7－1)。钱宝琮的看法与赵爽的叙述基本上是符合的，如有不同看来也不会相去太远。《周髀算经》中除赵爽的注文外，原文中也有相应的叙述，如"凡为此图以丈为尺，以尺为寸，以寸为分，分，一千里，凡用缯方八尺一寸。今用缯方四尺五分，分为二千里"就是叙述该图的尺寸比例。"凡为日月运行之圆周，七衡周而六间，以当六月"，"故日夏至在东井极内衡，日冬至在牵牛极外衡也"，则对黄图画做了具体的描述。可以认为在《周髀算经》成书的年代或更早，这种星图就已经出现了，也就是说星图产生的历史可以追溯到西汉甚至更早的年代。在中国天文学史整理研究小组编著的《中国天文学史》一书中将盖图作为"汉以前的星图"叙述，看来是没有太大的问题的。其叙述与钱宝琮的观点大致相仿，明确指出："黄图画上所画的实际就是一幅星图。由于那时全天星官和恒星已定名的数目还不多，可以想象这种星图上的星官数和





① 见《科技史集刊》第1期，1958年。

恒星数目都是较少的，而且由于学派的不同，各派所掌握的星官和星数也不尽相同，因此，不同学派的盖图内容不会是一样的。”这一推断看来是言之成理的。叙述中还有："因为星图源于盖图，而且星图又是平面的，所以一直到隋代还有把这种以北极为中心的星图称为盖图。”这大概是指《隋书·天文志上》“盖图”一节中的有关叙述。



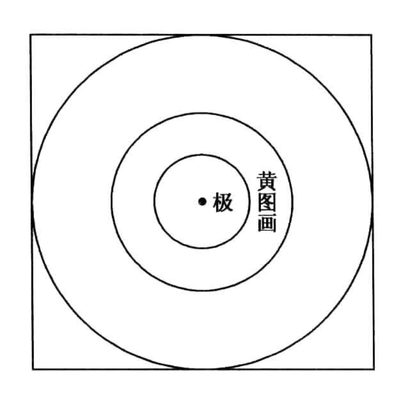




图 7—1　钱宝琮《盖天说源流考》中的盖图示意图

## 二、隋唐时期的盖图

《隋书·天文志上》中关于盖图的叙述共有两段，谈到：

高祖平陈，……乃命庾季才等参校周、齐、梁、陈及祖暅、孙僧化官私旧图，刊其大小，正彼疏密，依准三家星位，以为盖图。旁摛始分，甄表常度，并具赤黄二道，内外两规。悬象著明，躔离攸次，星之隐显，天汉昭回，宛若穹苍，将为正范。

昔者圣王正历明时，作圆盖以图列宿，极在其中，迴之以观天象，分三百六十五度四分度之一，以定日数。日行于星纪，转迴右行，故圆规之，以为日行道。……盖图已定，仰观虽明，而未可正昏明，分昼夜，故作浑仪，以象天体。今案自开皇已后，天下一统，灵台以后魏铁浑天仪，测七曜盈缩，以盖图列星坐，分黄赤二道，距二十八宿分度，而莫有更为浑象者矣。

其所述情况与钱宝琮所推演的《周髀算经》中的盖图的区别只在于它没有用来表示观测者所看到天空范围的青图画而已。由于盖天说中是将北天极视为天的中心，而这种星图也是以北天极为中心的，故称其为盖图也未尝不可。这里谈到的浑仪是“以象天体”的，它可能就是人们后来称之为浑象的天文仪器。所说的浑天仪才是后来被称为浑仪的，用其观测恒星的位置，并画成盖图，以满足当时天文学和星占学的需要。说到浑象，它实际上是一种在球面上标志恒星位置的星图，史籍上



记述，东汉著名科学家张衡就曾主持制造过，而据扬雄《法言》中“或人问浑天于雄。雄曰：‘落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之，几几乎莫之违也’”的记述，也不排斥在西汉时就有浑象问世的可能性。由于历史上的浑象绝大部分均未留存至今，史料中对其上恒星标志情况的介绍又相当简略，对作为球面星图的浑象人们实际上并无太多的了解，第四章中对其大致情况已做了介绍。虽然它在形象表现星空运动情况方面具有独到之处，比平面星图更为合理、优越，在这里也只有忍痛割爱了。但我们仍然需要肯定它们在我国古代天文学的星图工作方面的重要地位。

盖图的名称在唐代时仍有运用。在《新唐书·天文志一》中就谈到唐代著名天文学家一行为了研究月亮的运行规律曾经绘制过盖图：“及一行考月行出入黄道，为图三十六，究九道之增损，而盖天之状见矣。”其具体绘制方法是：

> 削篾为度，径一分，其厚半之，长与图等，穴其正中，植针为枢，令可环运。自中枢之外，均刻百四十七度。全度之末，旋为外规。规外太半度，再旋为重规，以均赋周天度分。又距极枢九十一度少半，旋为赤道带天之紘。距极三十五度旋为内规。

这实际上就是利用一根有刻度的竹篾建立起星图的坐标网格。所谓内规也称为上规，它就是天文学中所说的恒显圈，在其范围内的恒星永不下落。由于当时的中心地区的纬度约在35度左右，故内规的半径取为35度。外规则是天文学中的恒隐圈，也被称作下规，在其范围内的恒星永不上升，当时中心地区的人们是无法观测到这些恒星的，故以外规作为星图的边界。在外规外再画一同心圆，即是重规，在两同心圆间则可以注上周天度分数，将其与篾上的刻度配合即可确定星图上任何一点的坐标。于是，“乃步冬至日躔所在，以正辰次之中，以立宿距。按浑仪所测甘、石、巫咸众星明者，皆以篾横考入宿距，纵考去极度，而后图之”则指出在根据冬至时太阳在恒星间的位置确定了二十八宿的宿度范围以后，就可以根据由浑仪所测各恒星的入宿度和去极度坐标在星图的坐标网络中找到其位置，从而绘出星图。对于盖图的缺点，叙述中也有涉及：“其赤道外众星疏密之状，与仰视小殊者，由浑仪去南极渐近，其度益狭，而盖图渐远，其度益广使然。若考其去极入宿度数，移之于浑天则一也。”对在平面的星图上表现呈球面的星空时不可避免地出现的失真现象给予了清楚的叙述，但也指出这对于表示恒星的坐标并无影响。由于盖图是以北天极为中心，黄道在其上的投影就不应是一个正圆，否则就会出现问题，这里也对其做了明确的叙述，并提出了解决的方法：




> 又赤道内外，其广狭不均，若就二至出入赤道二十四度，以规度之，则二分所交不得其正。自二分黄赤道交以规度之，则二至距极度数不得其正。当求赤道分至之中，均刻为七十二限，据每黄道差数，以篾度量而识

之，然后规为黄道，则周天咸得其正矣。

这种将天赤道划分为七十二个区间，求得相应点处黄道的位置然后再联结成黄道的方法是十分科学的。在现代制图学中的某些近似作图的场合依然采用与其类似的方法。用类似的方法，一行也根据月亮运行轨迹与黄道之间的距离变化情况在盖图上画出月亮的运行轨迹，并对月亮的运行情况有所了解，这里就不多说了。

## 三、源远流长的盖图

上面提及的《中国天文学史》一书中还谈到汉代官方所用的星图的有关情况。它是根据《开元占经》中所引东汉蔡邕所著《月令章句》中的叙述来做出推断的。该叙述谈到：

> 天旋，出地上而西，入地下而东，其绕北极径七十二度常见不伏，官图内赤小规是也，谓乎恒星（注：应为“显”）图也。绕南极径七十二度常伏不见，图外赤大规是也。据天地之中而察东西，则天半不见，图中赤规截娄、角者是也。

其情况与上面谈到的盖图基本相同。只是上规、下规的名称分别改为赤小规、赤大规，赤道则称为赤规而已。由“赤规截娄、角者是也”可以断定图上至少绘有二十八宿的图形，从赤小规、赤大规的分布情况也可推想它必然也有其他星官。作者认为：“从这里可以知道，后代所用的圆形星图的形式，至少在汉代就已经比较完备了，后代同类星图只是在星官数和恒星数目上比它再增加一些就是了。”看来是很有道理的，我们刚刚谈到隋、唐时期的盖图的情况就是一个很好的佐证。





盖图作为专业性星图的一种形式直到明清时仍然有人采用，只是其名称已不再使用而已。我们在下面将要谈到的南宋苏州石刻天文图碑、明代北京隆福寺正觉殿藻井星图、明末徐光启《见界总星图》、清代莆田涵江天后宫星图、清代《仪象考成》及《仪象考成续编》中的《恒星全图》等实际上都采用了这样的形式。其所以会具有如此的生命力是和其在天文学发展过程中所起的作用分不开的。由于盖图可以在一幅图中绘出全天可见恒星的相对位置情况，又能相对准确地表示恒星的坐标数据，故在反映恒星观测的成果方面基本上还是能够满足需要的，不管是专业天文工作者还是初习天文者都可以方便地使用它来辨认恒星，使其成为从事天文工作的有用工具。至于其赤道南的恒星疏密情况的失真这一缺陷在有了充分认识后则显得不是那么突出。为了克服这一缺陷，明末以后的盖图常以天赤道或黄道作为边界，分别以南、北天极或南、北黄极作为中心画成两幅星图。徐光启的《赤道南北两总星图》、《黄道南北两总星图》，《仪象考成》中的《赤道南北恒星图》、《黄道总星图》，《仪象考成续编》中的《赤道南北星图》等都采用了这种方式，它们实际上不

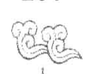


过是在盖图的基础上的发展，可以说是盖图的另一种改进形式。

从以上的叙述，我们可以看到，盖图虽然是公认的我国最早的星图，但由于其实用性很强，在中国的历史上一直得到应用，并不断地发展完善，其在我国天文学发展中的重要作用是应该给予肯定的。按照《续汉书·天文志上》中“轩辕始受《河图》、《斗苞授》，规日月星辰之象，故星官之书自黄帝始”的说法，盖图的起源似可上溯到远古时代，但这一说法只不过是传说而已，尚不足为凭。但从前引《周髀算经》中有关于盖图的叙述及《汉书·天文志》的第一句就是“凡天文在图籍昭昭可知者，经星常宿中外官凡百一十八名，……”可知其起源的时代最迟不会晚于西汉。《晋书·天文志上》在叙述了春秋战国时代的一些天文学家时有“皆掌著天文，各论图验”之语，并谈到西晋“后武帝时，太史令陈卓总甘、石、巫咸三家所著星图，大凡二百八十三官，一千四百六十四星，以为定纪。”由此看来，盖图的产生极有可能就是在春秋战国时期。它直到清代仍有迹可寻，应该说是一种历史最为悠久的星图了。

## 第二节　古老的认星星图

众所周知，认识星空是天文工作者尤其是中国古代的天文工作者的基本功。对初习天文的人来说星图就是他们认识星空的最好帮手。人们在观察星空以后根据某些恒星的位置、排列形状画出其示意图，其他人就能将其与星空进行对照，从而找出这些恒星来。仅为此目的而绘制的星图我们不妨称之为认星星图。它与还可作其他用途的专业性星图相比有其相对粗疏之处。由于认星并不需要了解各星的精确位置，星图也就无须精确绘制，更不必在图上标明相应的坐标，只要画出有关各星的大致排列形状，并在说明文字中谈到这些恒星与其他恒星的相对位置情况就可以了。由于认星是一个逐步积累的过程，故星图也不必绘出全天恒星的位置，既可以是某一局部天区内的某些星官，也可以是只有一个星官。它们或者是作为某一天文著作的插图，或者伴随有简要的说明文字，人们通过图文之间的对照，就可以很直观地了解天空中恒星的大致位置情况。

### 一、《星经》星图

《星经》中的星图就是一种认星星图。《星经》又称为《甘石星经》。我们在第五章中叙述星表时已经对其有关情况做了一定的探讨，看来它毫无疑问是后人假托战国时期甘公、石申夫的著作，但也保存了一些早期的恒星观测数据。在这部著作中对各星官进行叙述前通常都绘出了其大致的排列形状，图7－2就是其中东咸星官的图形，配合其后《星经》正文中“东咸四星，在房东北，星南入心二度，去北辰一

百三度也”的记述，就能在天空中找出这4颗星所组成的星官，从而达到认星的目的。《星经》中类似的星官图形有40余处，但其中有相当数量的星官只有一颗恒星，用其来识别恒星就存在相当的困难。《星经》中混有晋代甚至隋唐以后的地名，它又有《通占大象历星经》的别名，通常认为其成书年代是较晚的，不过其恒星位置数据可能对应于较早的时代，从恒星图形的古朴情况来看似也应是相当早的。虽然对其确切的对应年代尚难以最后肯定，但这些恒星图形堪称为古老的认星星图。

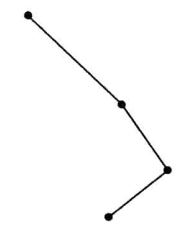


图7—2 《星经》中的东咸星官图

## 二、《步天歌》星图

《步天歌》是一首介绍天空中各恒星相对位置情况的歌谣，在某些版本中也附有星图。图7—3就是明抄本中柳宿的星图。图中绘有柳宿星官和酒旗星官的排列情况。类似的星图共有31帧，分别是按三垣二十八宿的恒星分区体系绘制的，它是我国古代最早的按星区绘制的星图之一。人们根据《步天歌》中的叙述，对照这些星图就像在天空中漫步，从而完成了认星的过程。我们在第四章中谈到《步天歌》时曾经引用过南宋郑樵在《通志·天文略》中评述《步天歌》的一段话，其中有“句中有图，言下见象”之语，而在《通志·天文略》中引述《步天歌》时也曾指出：“旧于歌前亦有星形，然流传易讹，所当削去”，可见在此以前这些星图早就附在《步天歌》中了。虽然我们尚难以肯定这些星图是否在《步天歌》诞生之时就已存在，但不可否认这些认星星图也相当古老。这些星图按照《步天歌》正文中所叙述的星官位置和各星官所包含的星数、排列形状进行绘制，有的版本图中甚至还绘出了银河、黄道、天赤道、恒显圈、恒隐圈的位置，相对来说还是相当规范明晰的。但由于其只是用于认星的目的，反映的只是各星官的大致位置和排列形状，再加上多次的转抄翻刻，现在我们看到的这些星图与实际天象之间也就难免存在着明显的差异，对于图形中角距离的比例失调、各星官排列形状的失真等情况的出现也就不足为怪了。

由于认星是初习天文者的“必修课”，在日常生活中人们要通过观察恒星位置来确定时刻、节气、方向等也要对恒星进行辨认，故认星星图历来是一直发挥着作用的。我们在第六章第十节所叙述的清代测时星表中大多附有选入星表的45颗测时星所在星官的星图，它们显然就是为了便于人们在观测时辨认它们而绘制的。

其中有的是每一星官绘制一图，图中只注重各成员星的排列形状，并以大小有别的符号来表示星等上的差异，这与相对严格按照恒星坐标绘制的星图是有区别的，我们不妨也将其归入认星星图的范畴。这种测时认星星图的出现表明星图已不只是专业天文工作者的工具了，它们已能为人们日常生活的需要提供服务了。

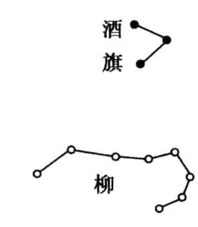



图 7—3　明抄本《步天歌》中的柳宿图

从以上情况我们可以看到，认星星图虽然绘制不很规范，并不能精确地表示恒星在天空中相对位置情况，但它能清楚地反映恒星的排列形状、大致的位置甚至亮度上的差异，基本上可以满足人们辨认恒星方面的需要，是一种初级的专业星图，在恒星观测方面具有一定的重要作用。实际上，中国历史上的一些手绘星图也相当不规范，虽然其星数较多，其内容涉及整个可见天区，但其特点也与认星星图有很大程度的类似，严格地说也可视为一种认星星图。下一节中将要谈到的敦煌星图就是如此。

## 第三节　敦煌星图



### 一、天文横图的出现

作为中国历史上最早的星图，盖图具有在天赤道以南的恒星的疏密程度与实际情况严重失真的缺点，这在第一节中我们已经谈到了。《新唐书・天文志一》中也曾记述唐代一行对此早有了明确的认识。由于盖图是以北天极为中心的圆形星图，图上离北天极较远处恒星的周日视运动的轨迹所呈的圆也就较大，用其来反映由视觉引起的球形天空在天赤道以北基本上还是能够相符的。这是因为人们所观察到的球形天空中在北天极到天赤道之间的恒星周日视运动的轨迹都是小圆，且其半径以恒星离北天极远者为大，到天赤道处则为大圆，这样用盖图在恒星周日视运动的方向上标志出各恒星的位置其疏密程度与实际情况就能做到大致上的相符。对天赤道以南的恒星则情况完全不同，恒星周日视运动的轨迹均是离北天极越远(即离南天极越近)半径越小的小圆，但在盖图上这些圆却是半径比天赤道还

大，且离北天极越远者越大，用其来标志恒星则在疏密程度上就出现了严重的失真。用盖图来与星空进行对照就会发现这一失真情况，故中国古代早就对此有所察觉。实际上人们对盖图的这一缺陷认识还要早得多。早在两汉之交时，扬雄在盖天说与浑天说的一场大辩论中提出了所谓“难盖天八事”，其中第八条就是：

> 视盖橑与车辐间，近杠毂即密，益远益疏。今北极为天杠毂，二十八宿为天橑辐。以星度度天，南方次地星间当数倍，今交密，何也？[①]

以车轮比作盖天，指出盖天说中离开作为车轴处的北天极越远，各度所对应的横向距离也越大，各度的分布也应越稀疏，在天赤道以南则应更为突出，但事实上那里却反而稠密了。这就明确指出了盖天说的不合理之处。这实际上也就指出了盖图所存在的相应缺点。要克服这一缺点，人们必须采用某些行之有效的方法。

要如实地反映恒星在天空中的相对位置情况，最直观的方法当然是制作浑象，用缀有恒星标志的圆球来象征星空，与人们观察到的情况可以没有明显的差异。但由于浑象的制作较为复杂，移动也不方便，在天文工作中很难得到广泛的应用。看来，要避免盖图的缺点，需寻求一种简单易行的办法，而在星图的绘制方式上予以改进就是一种行之有效的办法。在这种情况下就出现了一种天文横图，也就是长卷式的星图。

## 二、《敦煌星图甲本》

天文横图最迟在隋代就已经出现了。在《隋史·经籍志》中就记有：“天文横图一卷，高文洪撰。”该图在《旧唐书·经籍志》、《新唐书·艺文志》中都被列出，说明它在唐代时尚未流失。但现存最早的天文横图却是发现于甘肃敦煌莫高窟中的一卷唐代星图。这卷星图在20世纪初被英国人斯坦因(Mark Aurel Stein，1862—1943)非法攫取，现藏于英国伦敦的不列颠博物馆中，其编号为MS3326号。由于在甘肃省敦煌县文化馆中还保存有另一份敦煌古星图，已故著名考古学家夏鼐先生在其《另一件敦煌写本——〈敦煌星图乙本〉》一文中将前者称为《敦煌星图甲本》，而将后者称为《敦煌星图乙本》。



《敦煌星图甲本》是一长卷手写本的一部分。该长卷的卷首有残缺，其前半部分有25幅云气图，图下即是各云气图的相应占卜文字。根据图后的文字说明可知，云气图原应有48幅和相应的文字，即缺失了23幅。其后半部分才是星图，它共有13幅，分别绘有天空中不同区域中恒星分布的情况。其中前12幅自右向左排列依十二次的次序绘出了在天赤道南北一定范围内的星官排列情况；第13幅则

① 《隋书·天文志上》。

相应于北天极周围的紫微垣天区；最后还附有一电神的图像。图 7－4 就是《敦煌星图甲本》的片断。早在 20 世纪 60 年代，著名科技史专家席泽宗就对其进行过研究。在其所著《敦煌星图》一文中对这一卷星图的情况做了较为详细的介绍，指出它是“世界上现存星图中星数最多而且是最古老的一个。”星图是从十二月开始，根据各月中太阳在恒星之间的位置将天赤道南、北一定范围内的恒星分十二段依次绘出，对这些星象，席泽宗认为是“利用类似麦卡托（1512—1594）圆筒投影的办法画出来，但这比麦卡托发明此法早 600 多年”，对此给予较高的评价。对于第 13 幅即紫微垣星图，席泽宗也将其说成是“把紫微垣画在以北极为中心的圆形平面投影图上。”对星图这样的安排，席先生指出了其合理之处。关于盖图的缺点，我们在上面已经谈到过了，席泽宗在明确指出这一缺点以后则对《敦煌星图甲本》的安排加以肯定：“另一种办法是用直角坐标投影，把全天的星绘在所谓‘横图’上，这种办法

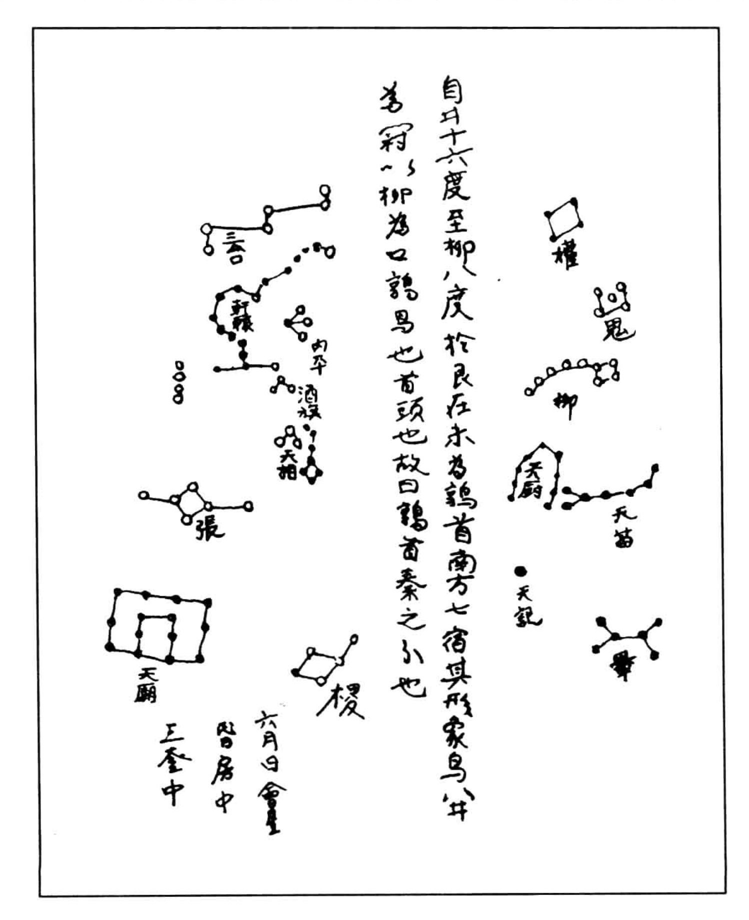



图 7－4　《敦煌星图甲本》片断（摹本）

在隋代开始出现，这样做，赤道附近的星与实际情况较为符合，但北极附近就差得太远，根本会合不到一起。为了克服这两个办法的缺点，最后只得把天球一分为二：把北极附近的星画在圆图上，把赤道附近的星画在横图上。敦煌星图就是我们现在所知道的按照这种办法画得最早的一幅。这种办法一直应用到现在，所不同的只是现在把南极附近的星再画在一张圆图上。"这里给予了适当的评价。席泽宗这里所讲的横图是指星图中的前 12 幅，与我们上面将其作为长卷式星图的正式名称是有区别的，这只是在理解上有所不同而已。由于这 12 幅星图之间均以文字说明相隔，各星图之间的上下位置也不尽一致，很难将它们视为一条连续的整体星图，而更像是 12 幅独立的平面星图。据此看来将其视为与麦卡托圆筒投影星图类似似乎是有一些勉强。它们实际上可能与第 13 幅星图类似，只不过是天空中某一块恒星区域在平面上的投影而已。麦卡托通常也译作墨卡托，他是荷兰制图学家，在 1569 年发明了一种圆柱投影制图的方法，故该法以其名字命名。具体情况在下一节中我们还会涉及，这里就不多说了。尽管这些星图的绘制还不能肯定地说与麦卡托投影有太多的类似，但由于它们与盖图已有本质上的区别，能够更理想地表现天赤道以南诸恒星的相对位置情况，应该说是古代星图绘制工作中的一大突破。如果说它尚还说不上是类似于麦卡托投影绘制的星图，但可以肯定地说已经朝这一方向前进了一大步，是我国古代对星图绘制工作所作出的杰出贡献。

在按十二次的顺序排列的各星图的后面都分别有长短不一的说明文字，其内容涉及各次所对应的宿度范围，对应的辰、次名称，相应的解释、分野等。席泽宗的文章中指出："敦煌星图中十二次的起迄度数和《晋书》卷十一《天文上》中所录陈卓的完全一样，其说明文字则取自唐《开元占经》(729)卷六十四《分野略例》。"由于文字有残缺和不易认清，席泽宗还据相应文献资料进行了重新抄录及校补。潘鼐的《中国恒星观测史》一书中述及这些文字说明时则指出："这些文字同唐李淳风所著《乙巳占》内'分野'一节记载的相同，衹稍简略。各段首句起迄度数，亦与李淳风所著《晋书·天文志》'十二次度数'一样。……解释辞亦见于唐《开元占经》的'分野略例'。"他根据所提到的三种文献资料，认为星图中的相应文字说明"颇有错失"，并进行了勘正。然而除去上述三种文献资料外，星图的文字说明也有可能来源于其他早已失传的资料，它与前者之间有差异并不奇怪，用前者对其进行勘正似无太多的必要。例如，第 7 段说明中讲到鹑火是"自柳九度至张十七度"，与第 8 段中鹑尾"自张十八度至轸十一度"是衔接的，它确与李淳风所撰《晋书·天文志上》所载有异。但由于中国古代是将 365 $\frac{1}{4}$ 度划分为十二次，各次的范围就有 30 度和 31 度之差异，这里取"张十七"、"张十八"，而非《晋书·天文志上》中的"张十六"、"张十七"，只不过是使鹑火的范围取为 31 度、鹑尾取为 30 度，而不是分别取为 30 度、



31 度而已，并不能肯定这就是错失。它可能反映了人们在以十二次划分天区的过程中的相应变化，硬行改变它似有不妥，以保持原貌更为适宜。当然，对说明文字中的明显错误所做的校补与勘正都还是具有积极意义的。

在按十二次绘制的星图下方大都有一小段文字，叙述了各月中太阳在二十八宿之间的位置及昏、旦中星。其第一幅图下记的是："十二月，日会女、虚，昏奎、娄中，旦氐中。"其叙述相当简明扼要。其他图下的文字体例大体仿此，只是有文字缺漏与难以辨识的情况，第 8、10、12 三幅星图下则均缺文字说明。席先生的文章中指出这些文字说明与《礼记・月令》中记述的大体相同，经对比指出了两者的差异，并根据现有的天文知识对其中的个别错误做了订正。潘鼐的书中也做了类似的工作，指出两者的"差异主要为《敦甲本》图下，二月以旦'牛中'代'建星中'，六月以'日会星，昏房中'代'日会柳，昏火中'。这中间，一项以位置较东之星代较西之星，一项以较西之星代较东之星，又与《续汉书・律历志》日所在位置及昏旦中星有出入，可知并非以岁差做修正。错异原因尚不明。"他根据各星图之间的文字与唐初成书的《晋书・天文志》、《乙巳占》中大体相同，星图下文字又与《礼记・月令》、《吕氏春秋・十二纪》、《逸周书・月令解》中的记述相类，做出了"可知文字部分，作者依据的是唐以前的天文材料，证明作品实系唐作，且不至于晚于盛唐"的判断，看来是相当有道理的。

在《敦煌星图甲本》上的星象是以不同的符号来表示的，从而区分分别隶属于石氏、甘氏和巫咸氏的三家星官，在许多对该星图的介绍中说它是用了不着色的圆圈、黑点和圆圈中涂黄色三种不同的符号。这与《宋书・天文志一》中记述南北朝刘宋元嘉年间由天文学家钱乐之制作的小浑天上"以白、黑珠及黄三色为三家星"倒是基本上一致的。然而潘鼐的《中国恒星观测史》一书中却指出："星的符号，石氏与巫咸氏用小圈涂以黄橙色，甘氏用黑点。还有少量仅着黄橙色而漏绘小圈，在黑白照片上呈现极淡的点子，成为特殊的星点，混同于石氏、巫咸氏合用黄色。"之所以会产生这样的差异，看来还是该图被掠到国外，研究者无缘就近对其进行仔细观察分析的缘故。席泽宗当年对该星图进行研究仅是得益于科学院间的资料交流而看到其黑白胶卷底片，并为此而大发感慨。在这样的条件下要分辨其圆圈中是否全部着色当然是困难的。不过李约瑟《中国科学技术史》一书中关于该星图的插图说明中也记述有："图中的星按照古代方位天文学三学派的传统，分别画成白、黑、黄三色。"据曾在英目击过该星图的江晓原的印象，星象中似无圆圈中未着色的情况，然而由于星图年代久远，所涂颜色是红抑黄已难分辨。这意味着有可能圆圈中用红、黄两种颜色分别表示石氏和巫咸氏星官，这与下节中将要谈到的北宋《新仪象法要》星图的说明中"星有三色，所以别三家之异也，出于石申者赤，出于甘德





者黑，出于巫咸者黄”的叙述倒是一致的，也可算是又一种说法吧。由于从陈卓的时代开始人们就已将三家星官并列，要分别将它们标示出来，看来总是需要有三种不同的标志，如果只有两种标志，那总是有某种原因的。不管怎样，在这份星图上用不同的符号来标示分属于不同学派的星官的做法是得到一致的肯定的。席泽宗的文章中还对各星官所包含的星数做了仔细的统计，得到“以上总计 1 359 星，较陈卓所列三家星数大凡 283 官 1 464 星尚少 100 余星”的结果。潘鼐的书中也做了类似的统计，他得到的星官总数为 278，恒星总数为 1 339 颗。其中有 7 颗星没有星名，又找不到对应星，可能是误绘上去的，故实际上恒星为 1 332 颗。与席泽宗的统计有 20 颗左右的差异，但这两个统计结果与陈卓所列三家星的总数相去已不算太远。

## 三、《敦煌星图乙本》

《敦煌星图乙本》也有人称之为《敦煌卷子紫微垣星图》。它也是在敦煌莫高窟中被发现的，有残缺。现藏于甘肃省敦煌县文化馆。它长约 299.5 厘米，宽 31 厘米[①]，其正面抄写有唐代地域的有关情况，现残存部分只有陇右、关内、河东、淮南、岭南五道的有关叙述。其背面的前部则是一幅紫微垣星图，有部分残缺。其后则有“《占云气书》一卷”字样，并有“观云章”、“观气章”两章的残篇。按照《敦煌星图甲本》的排列顺序，有可能在紫微垣星图的前面也有相应于天赤道南、北某一范围内恒星的位置图，但由于其前面残缺，这也仅能是推测了。星图用红黑二色绘出星象，其大体布局与《敦煌星图甲本》中的紫微垣星图相仿，只是两图的南北方向是上下倒置的，且稍有偏斜。图上绘有两个圆圈，中间一只实际上是紫微垣星官，沿其圆周点有星象，两边并注有“东蕃”、“西蕃”字样。外面的圆圈则可能就是上规(即恒显圈)，这是《敦煌星图甲本》中所缺的。和后者相比，星图的绘制似较规整，星象点也较美观，各星官的成员星之间的连线也纤细平滑，在古代缺乏理想的绘图工具的情况下能达到这样的水平确是很不容易的。图 7—5 是该星图的全貌。潘鼐的《中国恒星观测史》中列出了对该星图中的星象所做的统计结果。由于图已残缺，只能对现存部分进行核校，并将处于边缘的残缺星官也统计在内，共有星官 32 座(包括绘有星象而未注星官名者)，绘星象 137 颗。将各星点的颜色与三家星作比较，则石氏和巫咸氏星官均为红色，黑色则为甘氏星官，无一差忒。

## 四、关于绘制年代的讨论

以上两种敦煌星图绘制的年代目前尚无最后结论。对于《敦煌星图甲本》，李



---

① 据《中国古代天文文物图集》。



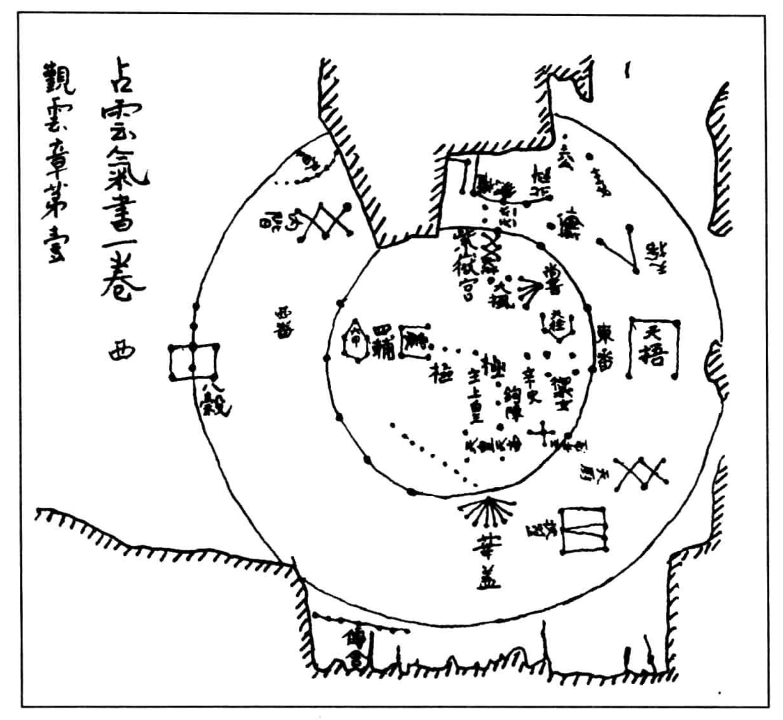
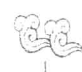



图 7－5　《敦煌星图乙本》(摹本)

约瑟在《中国科学技术史》中认为其年代对应于公元 940 年左右，但未叙述其理由。由于与星图同时抄在卷子上的还有云气占的内容，其中出现有“臣淳风言”字样，表明该卷子不可能早于初唐李淳风所生活的年代。潘鼐在《中国恒星观测史》中根据该星图说明文字中的分野仍取李淳风《乙巳占》所引东汉班固肯定的三统历十二次与十二野相配的原则，并未使用开元初年一行新定的星度分野、星图未依三垣二十八宿体系从而难与《步天歌》配合等理由，认为它不可能是盛唐或开元天宝以后的作品。他甚至提出了星图就是李淳风所做的可能性。对于《敦煌星图乙本》，他认为星图在四辅 4 星中写了“震”(即辰)字，其旁写有“枢”字，这是对唐初北极星位置的尊重；星图中星象着色等方面与三家星官体系契合而未与《步天歌》三垣二十八宿体系配合，可以表明其绘制年代可能是在开元、天宝年代以前的“星象体系转变的过渡时期”，恐怕亦要早到初唐时期。而在此以前，人们通过考证卷子上关于唐代地域情况的有关文字，认为其撰写年代约为天宝初年(8 世纪中期)，抄本对应的年代则应更晚，其字体与五代时的写本比较接近，故《中国古代天文文物图集》的图版说明中称《敦煌星图乙本》的“抄写年代约在晚唐五代时期(10 世纪上半叶)”。潘鼐认为，抄本上有不同年代的资料“也是生活中所常有的”，“抄写的年代不等于其底本的绘制年代”，看来也有一定的道理。不过仅以其内容中分野的记述未使用

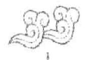




开元新值、星图从属于三家星官体系而非三垣二十八宿体系，或由并不十分确实的北天极位置来推断这两幅星图是唐代早期的作品根据似乎也是不充分的。因为星图的体例常取决于绘制者主观上的喜恶和表现上的方便，历史上视古老的传统做法为经典的例子也不胜枚举，在天文学中甚至星图中都有这样的情况。下面将要述及的《新仪象法要》星图中三家星官体系的特点就十分明显，南宋苏州石刻星图上十二次和分野的关系仍然取材于《晋书·天文志上》中所记的"班固取三统历十二次配十二野"，都是比较典型的。潘鼐的论据用来判断星图的绘制年代不可能早于某一年代是有效的，但要确定其不晚于某一时间则显得不够有力。看来要确定绘制的年代还需要更具有说服力的证据和进一步的探讨。尽管对这个问题尚有争论，对于该两种星图均出于唐代看来是没有太大分歧的。

从以上的情况我们可以看到这两种敦煌星图与传统的盖图已经存在很大的差别，但它同样可以表现全天区可见恒星的相对位置情况，且不会出现盖图在天赤道以南恒星的疏密程度有失真的缺点，从而显示了其在中国古代星图工作上的一大进步。由于该星图并非是对星象位置的简单描绘，而是按三家星官的体系、依照太阳各月所在星次进行了区分，反映了当时人们对星空的认识水平，具有显著的专业星图的特点。由于 14 世纪以前的专业星图只有我国古代留存了下来，而手绘星图则以这两种敦煌星图为最早。所以，李约瑟在其《中国科学技术史》一书中指出："前面提到的敦煌星图是一项珍贵的收藏品，其年代约为公元 940 年。如果摹仿性很强的古代石刻、壁画不计算在内，那么，我们几乎可以肯定，这是一切文明古国流传下来的星图中最古老的一种。"对其历史地位给予了很高的评价。





## 第四节　北宋《新仪象法要》星图

在李约瑟所著《中国科学技术史》一书中除对敦煌唐代星图给予较高的评价外，对北宋苏颂所撰《新仪象法要》中的星图也给予了相当的注意。他指出："如果编入苏颂《新仪象法要》的星图年代确与成书同时，那么，在我们所拥有的中国刊印的星图中当以这些图为最古。这部书自公元 1088 年写起，1094 年完成，其中所包含的星图从各个方面看来都很值得注意。""画法比一百多年前的星图手稿细致得多，但图中仍有'麦卡托式'投影。"对其在我国古代星图中的地位和相应的特点做出了适当的评价。

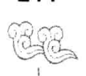
### 一、概况

我们已经知道，《新仪象法要》是北宋天文学家苏颂为他和韩公廉合作制作的



水运仪象台所撰写的一部专著。书中除对水运仪象台制作始末、结构特点和精细结构做了详细的介绍外，在其介绍浑象部分时还附有5张星图。其中“浑象紫微垣星之图”是相应于拱极星区的，“浑象东、北方中外官星图”、“浑象西、南方中外官星图”则是在天赤道南北区域的星图，前者的范围是从角宿到壁宿，后者则从奎宿到轸宿，它们各包括有十四宿的范围。“浑象北极图”、“浑象南极图”则是将整个天空以天赤道为分界线分成两半，分别以北天极和南天极为中心，将这两半画成的星图。由于当时人们对南天极附近的恒星无法观察到，对这一星区的恒星位置情况也就很不了解，图中这些位于恒隐圈内的恒星均未绘出。图7－6和图7－7分别是这5幅星图中的2幅的局部。

从现今流行的版本看，这些星图绘制得十分精致清晰，各恒星分别用圆圈和黑点标出，前者相当于石氏与巫咸氏星官，后者则与甘氏星官对应。在一个星官中，各成员星用细线连接，并在适当的地方注有该星官的名称。除第一图紫微垣星图外，各图中均有通过二十八宿距星的宿度线，这实际上也就是在星图上的赤经方向上画出了坐标线，这是在此以前的星图中所不具备的。人们只要在星图上观察到恒星与宿度线之间的相对位置情况就可以大致知道其在东西方向上的坐标，从而方便地在天空中找到它们。在第二及第三图中还画出了黄道的位置，这对了解当时人们对太阳在恒星之间的周年视运动的认识是有益的。在紫微垣星图中所包含星官数和恒星数分别为37和183，它与《步天歌》中紫微垣的记述基本相同。虽然其太微垣、天市垣均未单独绘图，而是在第二、第三张图中与二十八宿星区各星官同时绘出，但总的看来其所表现的已可能是三垣二十八宿的恒星体系。书中对这5张星图还分别有3篇文字说明，对星图所涉及的内容做了必要的诠释，同时也就反映了当时人们对星空的认识水平。

## 二、星图画法的讨论

“浑象紫微垣星之图”并非是相当于当时在开封所观察到的恒显圈范围的恒星，而是按照三垣二十八宿恒星体系划分属于紫微垣的星官。文字说明中谈到：“右紫微垣星图一，凡三十七名，一百八十三星，布列浑象之北上规，所以正天地之南北也。北斗七星在垣内，所以正四时也。”这里的北上规虽然确与现代概念中的恒显圈相当，但叙述只局限于指出紫微垣诸星的分布情况，并未特指该星图的范围。将该图与“浑象北极图”相比，也可见其范围确实比北上规要大一些，以至于周围显得较空，而天棓星官的五颗星均能绘上。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中将该图视为恒显圈星区图，并认为天棓南星的绘入可能是出于笔误或是只不过为了方便的缘故，看来只是一种误解。对于北天极，在文字说明中谈到：“旧说皆以纽星

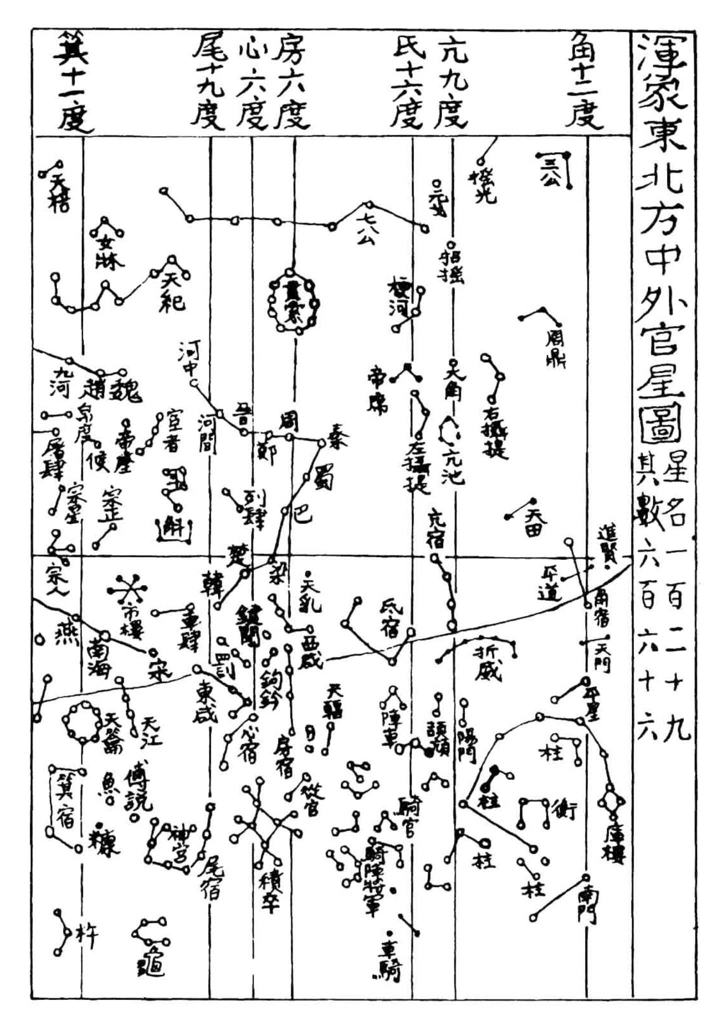



图 7－6 《新仪象法要》中“浑象东、北方中外官星图”左半部(摹本)

即天极,在正北,为天心,不动,今验天极亦昼夜运转,其不移处乃在天极之内一度有半。”这一将北极与极星区分开来的认识实际上早已被人们所接受,只是在这里将天极作为极星的代称而将北天极称为天心而已。潘鼐考查了南京图书馆所藏影钞《四库全书》版和《守山阁丛书》版的《新仪象法要》中的该图和“浑象北极图”中的上规部分,发现图中圆周的中心并非位于标明“北极”字样的星点处,按照比例估算,得到其偏离约在一度半左右的结果。他认为,这种将北天极与极星区分开来的





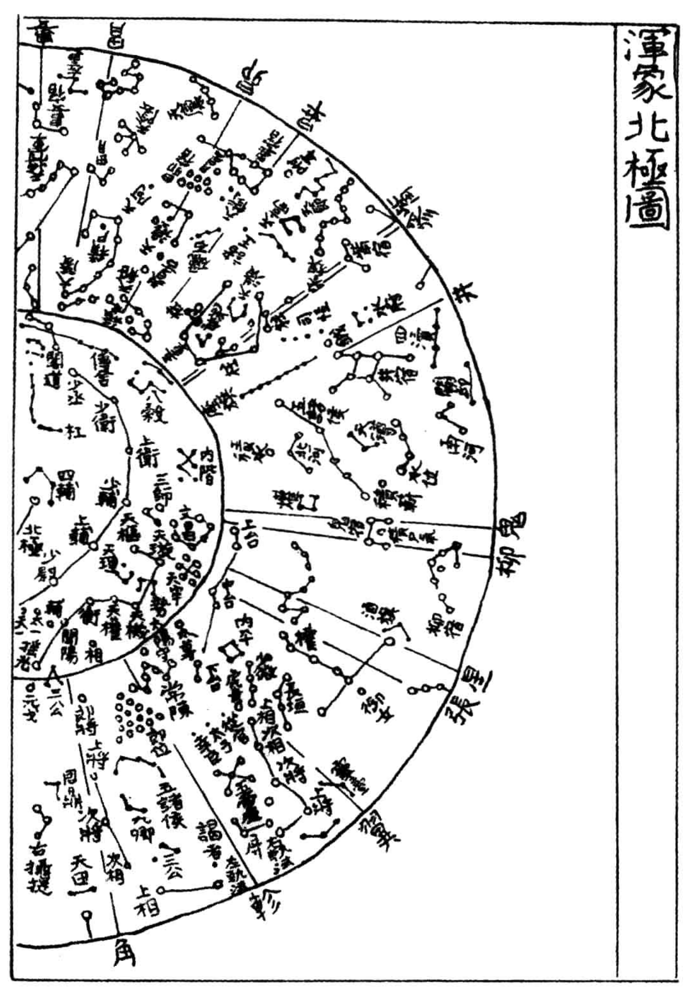




图 7－7　《新仪象法要》中“浑象北极图”右半部（摹本）

画法“应当看作是星图制图学上的一大进步”。[①] 由于绘制星图时要准确地标示出恒星的坐标总需要有某些坐标已知的点或线作为参照，北天极和以其为圆心所画的圆周（现代天文学中称其为赤纬圈）就是很理想的参照，人们只要首先确定它们在图上的位置，然后根据观测到的恒星的入宿度和去极度数据就可以相对精确地在图上确定其位置。虽然在该图上并未标出北天极的位置，其圆周上也没有标上宿度标志，但从图中各星象间的距离比例相对准确、圆心偏离极星等迹象看来，这些标志在绘制底图时是可能存在过的，只是在描摹刻版的过程中未予保留而已。

---

① 潘鼐：《中国恒星观测史》。





将该星图与以前只注意星官的排列形状或反映一个星区中各星官分布的大致情况的认星星图相比，称其为“一大进步”是丝毫不过分的。该图的文字说明中还谈到：

故浑象杠轴正中置之不动，以象天心也，自天极外诸星皆随浑象运转，以象列宿随天左旋也。天有二十八宿，为十二次舍，布列四方，三百六十五度有畸，而天极亦具其数。古人所谓天形如盖，即天心为盖之杠轴，列舍即盖之撩辐，分布十二次舍之度数，紫宫近天极故狭而密，列舍布四方故阔而疏也。

对度数的分布情况随其距北天极的远近而有疏密的变化情况做了相当透彻的表述，这与两汉之交时扬雄“难盖天八事”中相应的叙述相比显然是进了一步。文字说明中还对星图与浑象在表现方式上的差异做了陈述：“然则浑象，人居天外，故俯视之；星图，人在天里，故仰观之。二者相戾，盖仰俯之异也。其下中外官星亦仿此。”由于这些星图只是作为水运仪象台上浑象的介绍中的附录，其所表现的应是浑象上的星象分布情况，但由于表现形式上的差异两者的情况又不可能相同，这里做出的说明还是十分必要的。

在“浑象东、北方中外官星图”的标题下注有“星名一百二十九，其数六百六十六”字样，而“浑象西、南方中外官星图”相应有“星名一百一十七，其数六百一十五”，在两图后的文字说明中则列出了其所绘的恒星总数：

右浑象中外官星图二，凡二百四十六名，一千二百八十一星，分布于四方，周遍天体，惟南极入地，常隐不见，紫微宫常见不隐，余星近日而伏，远日而出，四时互见，二十八宿为十二次，三百六十五度有畸，日月五星之所舍也。





对这两幅星图所表现的星区特点也做了清楚的描述。其后又对二十八宿分别做了简单的介绍，并清楚地指出：

凡星皆随天左旋，日月五星常违天右转，昏晓于是乎正，寒暑于是乎生，岁时于是乎成。所以著于浑象者，将以俯察而知七政行度之所在也，著于图者，将以仰观而上合乎天象也。

对天体运行的大致规律和浑象、星图的作用都给出了概念性的叙述。“星有三色，所以别三家之异也。出于石申者，赤；出于甘德者，黑；出于巫咸者，黄。”星图中分别用圆圈和黑点来标示恒星，根据这段叙述，我们不能排除在原星图上圆圈内是分别涂有红、黄二色的可能性，因为只有这样才能以红、黑、黄三色来分别标示分属于石氏、甘氏、巫咸氏三家星官的恒星，这两幅星图的上方相应于二十八宿宿度线的地方分别注有二十八宿的宿度值，而这些数值恰与《元史·历志一》中“周天列宿度”一节所列“元丰所测”宿度数据完全相同，这是人们判断《新仪象法要》星图的绘



制素材是北宋元丰年间进行的恒星观测所得到结果的重要依据之一。李约瑟的《中国科学技术史》一书在介绍这两张星图时称其为"北赤纬 50°左右及南赤纬 60°左右'麦卡托式'圆柱正形投影图",这一看法目前是得到较为一致的承认的。潘鼐在《中国恒星观测史》中则明确指出:"那四方中外官星图所采用的正圆柱投影画法,便是用这种投影法表达球面形象的最早的应用和发明。西方直到文艺复兴时期的 1569 年,方才有麦卡托(G. Mercator,1512—1594)应用这种投影画法第一次绘出世界地图,迟于苏颂已四个半世纪多了。"然而对这种观点最近也出现了异议。

胡维佳在其《〈新仪象法要〉中的"擒纵机构"和星图制法辨正》①一文中对《新仪象法要》中的第二、三幅星图进行了较为有效的研究。文章指出,将这两幅星图的画法说成是"类似麦卡托圆筒投影的方法"或"正圆柱投影画法"的人都没有对此提供任何证明。作者为验证这一说法,特选取"浑象东北方中外官星图"进行了实测比较。量取了图中 14 宿距星与天赤道的线距离,按其当时的赤纬值折算其所对应的比例尺。以这些比例尺的算术平均值作为星图的比例尺计算了各星应距天赤道的线距离,将其与量取值比较就得到两者的偏离。同样按麦卡托投影的方法也可以得到这些星与天赤道的线距离和相应的偏离值。比较这两组偏离,虽然后一偏离比前者的较大,却并不太明显,但按星图上恒显圈、恒隐圈位置进行计算比较,后一偏离比前一偏离则明显偏大。作者认为由此可以断定"原书星图中的横图不可能是用正圆柱投影法绘制的,而可能是用适当的同一比例尺将星体的去极度换算成'纵坐标'绘制的。""可以认为原书星图采用的是一种直角坐标标绘法,即将星体在球面上的投影位置:去极度(赤纬)和入宿度(赤经),标绘在直角坐标框架中。"其结论是:"《新仪象法要》星图中横图是采用麦卡托正圆柱(筒)投影法绘制的说法是未经证明并忽略了正圆柱投影法最基本的特征的结果,是无法成立的。"虽然文章中的推算只涉及第二幅星图中的 14 宿距星,因其距天赤道尚不太远,其位置与用麦卡托投影法所得到的相应点之间的偏离尚不太大,难以作为有力的证据支持文章的最后结论;而星图的上、下两边线又无记述明确其与上、下规对应,将其作为后者来处理也是不严格的,但总的来说文章中的分析还是基本上可信的。由于中国古代确实没有明确的投影制图的有关概念,认为这两幅星图是采用了麦卡托圆柱投影绘法当然是根据不足的。但这种将球面上的坐标绘成长条状的星图的方法与圆柱投影绘法在效果上是有相当程度的类似的,李约瑟和某些学者将《敦煌星图甲本》和这两幅星图称之为"麦卡托式投影图"或"类似于麦卡托投影的星图"都似有一定的合理性。值得引起注意的是,在地图投影学中的正圆柱投影法有等距离




① 见《自然科学史研究》,1994(2)。

圆柱投影和等角圆柱投影两种。后者是荷兰制图学家麦卡托于1569年发明,故又称为麦卡托投影。其特点是球面上等距的经线在圆柱面上的投影是等间距的平行竖线,球面上等距的纬线在圆柱面上的投影却是不等间距的平行横线,越远离赤道其间距也越大,以保证其在球心处所张的角度与球面上相应点之间所张的角度相等。作者就是根据横图不具备这一特点而否认其是以麦卡托投影方法绘制的。前者则与后者有所区别,即球面上的等距纬线以该法投影在圆柱面上也是等间距的,从而保证在球面上距离相等的两弧段在圆柱面上的投影长度也相等。这样,以恒星的去极度(或赤纬)、入宿度(或赤经)数据在直角坐标系中进行标绘的星图与这一种圆柱投影方法倒是更为接近的。

由以上的分析我们可以认为,虽然中国古代没有投影制图的概念,但人们已能在圆柱投影制图法问世以前近500年时绘出了极其类似于运用该法的星图,这应该说是中国星图史上的奇迹。前已说过,有人将隋代《天文横图》和《敦煌星图甲本》中的十二次星图也视为是同样类型的星图,如果真是如此,绘出这一类星图的年代就应大大提前了。不过由于隋代《天文横图》早就流失,对其具体情况也就无从知晓。《敦煌星图甲本》十二次星图的连续性不强,各图之间的文字说明使其看上去更像是12幅分区星图,与圆柱投影图还是有相当程度的差别的。为慎重起见,我们还是应该只将《新仪象法要》中的这两幅星图视为最早具有这一特征为妥。其在中国古代星图史上所具有的地位是不言自明的。

《新仪象法要》中第四、五幅星图又是中国古代星图史上的一次创新。我们已经讲到过,盖图在表现天赤道以南的恒星位置情况时有明显的失真。同样,横图对于天赤道附近的恒星的相对位置可以表现得很好,但对于两极附近相当大的区域内的恒星同样会产生很大的失真,故必须将紫微垣内的恒星另行绘图,这样也就出现了使它们衔接起来的困难,要将两种完全不同类型的星图形成一个完整系统的概念,在比例尺、方向等方面都要取得一致,在古代的条件下,确是相当困难的。《新仪象法要》中的这两幅星图既吸取了盖图的一些优点,又避免了盖图在天赤道以南出现失真的缺陷,它们实际上是将天赤道南、北两个半球分别投影在平面上的两张圆形星图,与现代地图投影学中的等距平面投影是相当类似的。由于其大小、形状均相同,都标有宿度线,只要将其对应起来就不难得到全天恒星分布情况的概念,从而也就不会出现横图的上述缺憾。星图采取这样的绘制方法应该说是相当理想的。虽然我们尚不能完全肯定这样形式的星图以此两图为最早,人们在制作浑象的过程中完全有可能是将星象标志在两半球面上再拼成整个球形的浑象体的,这就有可能出现相应的星图,但能流传至今的最早就是这两幅。在该两星图后的文字说明中谈到:



右浑象北极、南极星图二，古图有圆、纵（注：应为横）二法，圆图视天极则亲，视南极则不及。横图视列舍则亲，视两极则疏。何以言之？夫天体正圆，如两盖之相合，南北两极犹两盖之杠毂，二十八宿犹盖之弓辏。赤道横络天腹，如两盖之交处。赤道之北为内郭，如上覆盖；赤道之南为外郭，如下仰盖。故列弓辏之数近两毂则狭，渐远渐阔，至交则极阔，势之然也。亦犹列舍之度近两极则狭，渐远渐阔，至赤道则极阔也。以圆图视之，则近北星颇合天形，近南星度当渐狭则反阔矣。以横图视之，则去两极星度皆阔，失天形矣。今仿天形，为覆仰两圆图，以盖言之，则星度并在盖外，皆以图心为极。自赤道而北为北极内官星图，赤道而南为南极外官星图，两图相合，全体浑象，则星官阔狭之势与天吻合，以之占候，则不失毫厘矣。

对这两幅星图与圆图（即盖图）、横图进行了比较，对其具体情况特别是优越之处给予了十分透彻的阐述。从说明中“今仿天形为覆仰两圆图”之语可知，这种形式的星图如果不是苏颂等人的首创，其出现也不会比苏颂所处的时代早出太多。正如上所说，中国古代没有投影制图的概念，这些图看来也是根据观测得到的恒星坐标直接点在图上的，这用现代制图学的眼光看来当然是不正规的，但其效果与现代地图投影中的等距方位投影还是相当类似的。由于等距投影可使图上某一方向上的长度与实际长度的比例是一致的，故虽有一定的变形，但还是不大的。对于反映只在硕大的天球上占据很小一个区域的各星官的形状，其变形也就更为有限了。所以它对绘制古代星图来说应该是完全可以满足要求的。在这以后，中国古代的星图也就在盖图、横图之外又有了第三种表现形式。明末先进的西方天文学知识传入中国以后，著名天文学家徐光启曾绘制过“赤道南、北两总星图”、“黄道南、北两总星图”，都是用这种表现形式绘制的，这表明《新仪象法要》中的这两幅星图影响是相当深远的。




## 三、星图反映的信息研究

由于星图本身包含有恒星位置的信息，《新仪象法要》中的星图绘制较为规范，完整地给出了全天可见恒星的相对位置情况，通过对其研究也就能够对其有关情况有一个大致的了解。上面谈到，潘鼐在《中国恒星观测史》一书中就曾研究过星图上北天极在星图上的位置，他还根据这些星图研究了其采用的恒星数据所对应的观测地点、观测年代、星图的体制及绘制水平，取得了一定的结果。

关于恒星数据的观测地点，在《新仪象法要》中谈到浑仪时有：天经双环“于地浑面自北扶上三十有五度少弱，则北极出地之度也”的记述；谈到浑象时也有相同

的数据。这表明其所采用的地理纬度为 35 $\frac{1}{6}$度，约合 34°.66，这与北宋京城开封的实际纬度数据 34°.7 是非常接近的。潘鼐对星图中位于恒显圈内外且距其最近的若干颗恒星进行了归算，发现它们都基本上与星图中所绘制的情况相符，得到星图是“依照开封的地理纬度绘制”的结论。不过由于第一、二、三图的文字说明中并未对图中的上规（即恒显圈）做明确的叙述，潘鼐的归算中据以作为检验基准的恒显圈在星图上的位置并不十分可靠，而且各星图之间也不尽完全符合，其结论的可靠性也就值得怀疑了。看来这还是可以进一步加以探讨的。

关于星图的观测年代，潘鼐是根据星图上北天极的位置来进行研究的。他将南京图书馆藏影钞《四库全书》本和《守山阁丛书》本《新仪象法要》中的第一、四幅星图中确定的北天极位置在其因岁差现象而移动的近似曲线上的位置，分别得到其所对应的大致年代，4 个近似的年代在 1040—1140 年之间，与元丰年间（1078—1085）非常吻合，他认为结果是令人满意的。由于岁差现象使北天极在恒星之间的移动是缓慢的，星图的尺寸又是十分有限的，潘鼐也知道“在不大的图形上，出入半厘半毫，便差错许多年”，用粗略估计的方法能得到如此吻合的结果，这是难以想象的。尽管潘鼐在从事这一工作时是十分严谨的，但由于人们根据《新仪象法要》中多次提及“元丰所制”、“元丰仪”和星图上所标宿度数据与元丰年所测相同、“四时昏晓加临中星图”的文字说明中注有“称今者，是元丰所测见今星度也”字样等情况，基本上认定这些星图绘制的素材可能来自元丰年间的恒星观测，在这样的情况下，研究受到某种心理上的影响而导致结果的一致也不是不可能的。不过，潘鼐的结论“由此，我们可以合理地判断说，这五幅星图，即浑象新缀的周天列宿，其位置是取北宋元丰年间在开封所做的实测资料，是作于 11 世纪 80 年代后期的一份科学星图。”对该星图观测年代的确定还是具有重要的参考价值的。





由于星图上用圆圈和黑点分别表示分属于三家星官的恒星，文字说明中还讲到用三种颜色表示三家星，这说明它是继承了陈卓整理的三家星官系统的。但在第一图的文字说明中引用了《史记·天官书》等古籍中对于北斗七星的叙述，第二、三图的说明文字中也有与相应古籍中对四象二十八宿叙述类似的文字，潘鼐认为：“足证苏颂既用陈卓的 283 官 1 464 星，复祖史、汉的星象体制，反映了他‘议论持平，务循故事’的思想作风。”看来是很有道理的。他所说的“史、汉”就是《史记》与《汉书》。由于其中对星象的叙述十分粗略，第二、三图的文字说明中又指出：“紫宫诸星亦同出三家，中外官与紫宫星总二百八十三名，一千四百六十四星。《汉志》所载紫宫及中外官星才百一十八名，积数七百八十三星。至晋武帝时，太史令陈卓总三家所著星图，方具上数，至今不改。”可见其星象体制主要还是陈卓的三家星官，并按紫宫和四象二十八宿这一传统的方式划分的，潘鼐对四种版本的前三幅星图



根据陈卓三家星的体例对星名、星数进行了校核，得到“则知八份星图，其源盖同出于一家，并与三家星吻合”的结论。统计校核的结果显示，虽然在星官和星数的小计上互有参差，但其总数倒是大体不差的，显示了在总体不变的前提下与陈卓三家星官体系已有一定的差别。有关的具体数字这里就不必赘言了。按照潘鼐的统计：“总的说来，从传世的善本来考查，这套星图实有 281 官 1457 星，缺内厨及右更二座 7 星。”这与陈卓三家星共有 283 官1 464星的差别还是相当小的，应该说是属于同一体系。

衡量星图的绘制技术水平，最根本的当然是要观察其星象位置的精确程度。潘鼐以“浑象东、北中外官星图”为例进行了分析。他对其中十四宿距星的宿度和去极度的误差分别做了推算。得到的两组误差结果中均有数宿距星的相应误差较大，有的甚至相差达 5 度以上。这表明其绘制的精确度还是较低的，但潘鼐认为在中国古代没有几何投影的制图方法，绘制工具又不理想，星图的尺寸又不大，星象标志的直径又超过了 1 度，出现较大的绘制误差的情况是不足为奇的。该图中虽然绘有十四宿的宿度线，各线确也相对精确地通过相应宿的距星，但从各宿度线之间的距离来看，其间隔显然不与图上方所列宿度数据成比例，这显示了其在宿度上具有相当惊人的误差。潘鼐的计算所列出的数据是相应于各宿度每度误差的毫米数，这就使与图中所绘对应的各宿度值的误差缩小了好多倍，对宿度值越大者尤甚，故宿度的绘制误差并非只有数宿的数度之差，而是十分严重的。不过正如潘鼐所指出的：“从图的整体来看，各星座图形，相互间的疏密交织，颇为匀称。亢、斗两宿的宿度虽比应有的窄些，星座不显得拥挤。……同样，角宿区比应有的宽广，大得颇多，从赤纬看星并不稀朗；牛宿区亦偏大，然星仍紧凑。”看来星图采用这样的画法乃是由于受到星图本身的尺寸限制。如果严格按照统一的比例尺寸绘制星图，则在恒星分布较为稠密处就会显得十分拥挤，以致难以将它们区分开来。如果以能使其互相区分的比例来绘制星图，则又会使星图的长度显得过长。采用在宿度方向上用不同比例尺绘制的方法看来只是一种不得已而为之的权宜之计，但却取得了使整个星图分布匀称、疏密得当的效果，看来还是有一定的意义的。在这样的情况下要估计其在宿度方向上的误差就需要采取分段处理的方法，即选取一些恒星量取其与宿度线之间的距离，以其入宿度的计算值作为标准，算出其比例尺，然后求各星之间的符合程度，从而估计各恒星的相对位置情况在星图上是否产生变形。对去极度的误差也可采取类似的处理，只是不必分段进行了。由于潘鼐的工作只局限于十四宿距星，似乎也就难以对星图的全貌给予一个客观的评价。从潘鼐的计算结果看，他采用守山阁本、南京图书馆藏影钞本中同一图进行的分析分别所得的误差有时会有两度左右的差异，不管两种版本中哪一种更接近原图，这都




反映了在《新仪象法要》流传的过程中，由于转抄翻刻等方面的原因可能已使现存星图与原图产生了某些失真，分析现存星图的绘制精度看来也难以代表当时星图的绘制技术水平。潘鼐还对星图中分至点的位置情况做了分析。“至于两本图上，秋分点的误差较大，达3度余。”他推测造成这种情况的原因是绘图的原稿可能是一幅盖图，而盖图的二分点位置常是不准确的。看来并非尽然。在《新仪象法要》中述及浑仪中的赤道单环时就已指出：“元丰甲子岁，冬之日至在赤道斗三度，夏之日至在井九度少弱，春分日在奎初度强，秋分日在轸七度太弱。”潘鼐分析这些数据时也曾指出：“元丰七年‘以新仪考测’所得四正宿度甚为精确，较重要的冬至点与春分点同依近代观测的推算值完全相同。秋分点只差0.1度，仅夏至点出入大些，错了一度。”在相当精确地掌握了秋分点在恒星间的位置后仍然在星图上会出现3度的误差可能是另有原因，转印翻刻中出现的差异或量度中的估计失当都是可能造成这一误差的。由于在盖图上将黄道绘成一个正圆确实会使春、秋分点的位置不准确，但这对两分点的影响应该是相同的，不可能只对秋分点有较大的影响，而且其所引起分点位置的不准确也绝不只有两三度的影响，故以盖图来解释以上误差似有欠妥。

总的看来，北宋《新仪象法要》星图作为我国古代最早的刻印星图，在绘制的精致规范、包含的星官和恒星数目等方面都是空前的，在星图的表现形式上也有比较突出的创新，其中连续的类似于麦卡托投影的星图和以天赤道为分界线分别绘制的“浑象南、北极图”都是现存同类星图中最早的，在世界天文学发展的历史上也具有相当重要的地位。尽管由于经过多次的转印翻刻，各星图均已难以完全保持原貌，但其星官的排列形状基本得以保持，恒星位置大体准确。星图上还最早标上了宿度线，为标示恒星位置提供了坐标框架，从而更加突出了其科学性。可以毫不夸张地说，《新仪象法要》星图是我国历史上也是世界天文学史上最重要的科学星图之一，它的出现使中国古代的星图工作从此走上了健全发展的道路，具有难以估量的重要意义。





## 第五节　苏州南宋石刻天文图碑

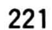
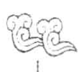
### 一、最早的石刻星图

将星图刻在石头上是长期保存星图的最好方法。如果说在江苏省连云港市西南郊将军崖岩画中有表示恒星的圆点也是一种石刻星图的话，那我国古代的石刻星图就有数千年的历史了。然而由于这些表示恒星的圆点只具有象征性的意义，



严格地说尚不能称其为星图。我国现存最早的石刻星图当数五代时吴越国文穆王钱元瓘墓内发现的一块。

浙江省文物管理委员会曾于1965年在杭州玉皇山发掘清理了钱元瓘的坟墓。在其墓后室顶板的正中就有一石刻星图。顶板是一长4.71米、宽2.66米、厚0.31米的红色砂砾岩，已裂成多块，造成了某些星官的残缺不全。星图用阴线刻画，星象用圆圈标志，同一星宫中的各星用双线连接。其中心即为北天极，以其为圆心绘有大小不等的四个同心圈，其中最小的圆直径为49.5厘米，相当于拱极星区，其中刻有北极、勾陈、华盖和北斗等拱极星官。中间的一个圆直径为119.5厘米，它是用来标示天赤道的，在其附近分别刻画有二十八宿星官。最外两个圆组成重规。所谓重规实际上是两个半径十分接近的同心圆之间的环形区域。中国古代的盖图常用其作为边缘而与下规（即恒星的恒隐圈）相对应，并在其中注上十二次、十二辰、分野等名称，用来标示星空中的不同方位。然而该图的重规中均无相应的标注。重规的内径约为189.5厘米。虽然这仅是一幅墓葬中的星图，只具有相应的象征意义，但其星象图形刻制得相当严谨规范，与某些专业星图相比也毫不逊色。据伊世同《最古的石刻星图——杭州吴越墓石刻星图评介》[①]一文中统计，全图共刻有星官32座，附座13座，星数应有218颗，但因残缺35颗，现存183颗。图7－8即该石刻星图的摹本。从图上可以看到各星宫中所包含的恒星基本上都按照当时人们所掌握的星数绘制，其排列形状也十分逼真形象。伊世同的文章中根据清代星表中相应恒星的位置进行了有关的换算，绘制了历元为公元850年的类似星图，虽然由于某些历史上的原因两者之间存在一定的差异，但它们还是十分相似的。按照伊世同的说法该石刻星图中的恒星位置是相当准确的，他以星宿六、星宿七为例，如依清代星表中的位置数据很难找到对应的恒星，而石刻星图中该两星的位置却能符合得相当好。认为这说明了质量较高的古星图对研究历史上的星象具有重要的意义，对此，给予了较高的评价。按照有关的记载，钱元瓘是在天福六年八月去世的，七年壬寅二月癸卯入葬，这两个年份分别对应于941、942年。这比以前世界公认最古的苏州石刻天文图碑早了300多年，伊世同称其为“最古的石刻星图”，看来是当之无愧的。他还认为：“把二十八宿的附属星座表现得这样齐全、完整的先例，过去还没有见到过，对研究传统星象的历史变迁显然是难得而又可靠的珍贵资料。”

无独有偶。钱元瓘的次妃吴汉月的墓葬中也有石刻天文图发现。这座墓葬是1958年发掘清理的。其位置在杭州市郊施家山南麓，西距钱墓400米左右。星图位

① 见《考古》，1975(3)。

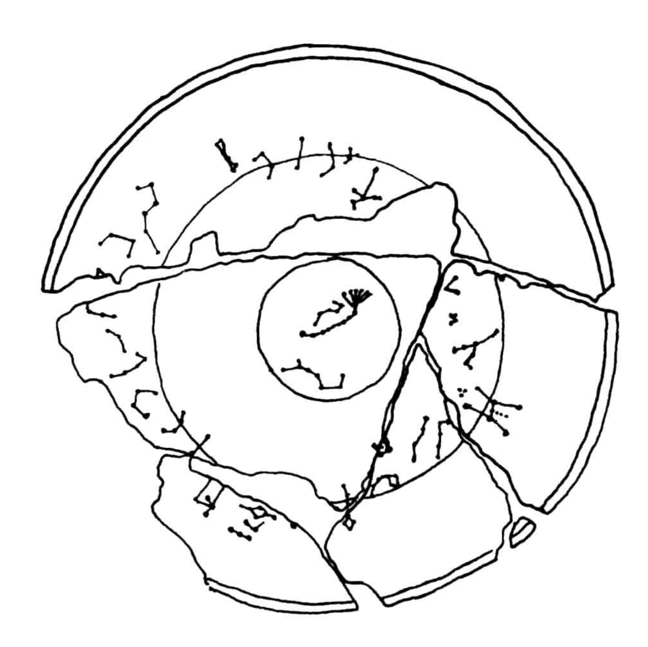


图 7—8　五代吴越国钱元瓘墓石刻星图(摹本)

置也在墓后室盖顶的阴面上,但稍偏后。星图也用阴线刻出,只是其星象较钱墓中略少,其上也没有相应于天赤道的圆周。相应于拱极星区的圆周直径为 42.6 厘米。星图外边缘处则是三个同心圆构成的重规,其最外圆周的直径为 180 厘米。表明其尺寸比钱墓中星图略小,这可能是与墓主人的身份不同而产生的差异。对每一星官中的成员星之间的连接是用单线。据伊世同文章中的统计,星图共绘星官 30 座、附座 9 座,星数应为 189 颗,但残缺了 11 颗,实有星象 178 颗。尽管其破损程度比钱墓中星图要轻得多,但星数依然比后者少。吴汉月死于 952 年,比钱元瓘晚了 11 年。



上述两份石刻星图的圆心均在纽星(又叫天枢,现名鹿豹座 32 星)附近,而该星代替帝星(今小熊座 β 星)成为极星应是在唐代前后,故该两星图所对应的年代不可能比此早出很多。根据唐代大规模恒星观测的情况,伊世同认为该两星图“原图的观测年代大致是唐开元年间”。看来是有这样的可能性的。然而根据星图中拱极星区即恒显圈按比例折算后得知星图观测地点所对应的地理纬度为 37°.3,而杭州的地理纬度只有 30°.2,故该星图所对应的观测地点就不可能是杭州。但由于北纬 37°处似无著名的观测地点,这一现象究竟缘何而起?伊世同认为“尚有待于进一步的研究”。由于这两份石刻星图毕竟是只具有象征意义的墓室星图,图上的星象数目也就十分有限,虽然由于其规范精致,反映了当时人们对恒星位置的认识水平,具有一定的科学意义,但其所提供的信息终究不如像苏州石刻天文图碑这样



的专业星图丰富。

## 二、苏州石刻天文图碑的内容

著名的苏州石刻天文图碑始建于南宋淳祐丁未年(1247)。它坐落在江苏省苏州市原文庙的戟门,后曾一度移至苏州市博物馆保存,现仍迁回原处。该图碑建立之初原本还同时建有三座石碑,但到清代孙星衍撰写的《寰宇访碑录》中也只谈到三座:“府学天文图、地理图、帝王绍运图。”这三座碑一直留存至今。在“地理图”的下方有一段说明文字:“右四图,兼山黄公为嘉邸翊善日所进也。致远旧得此本于蜀,司臬右浙,因摹刻以永其传。淳祐丁未仲冬,东嘉王致远书。”明确指出原来确有四碑,但对所失一碑的情况并未提供任何线索。由文字说明可知主持建碑者是王致远。他是南宋永嘉县人,曾任慈溪知县、湖北路提刑、浙西路提刑、台州知府等职。图碑看来就是其在浙西路提刑任内所建。说明中提到的“兼山黄公”就是黄裳,四川普成(今梓潼县西北)人,曾任太学博士、秘书郎,皇子赵扩封为嘉王后调任嘉王府翊善,这一职务相当于王府的教师,为了教授各种知识,他“作八图以献:曰太极、曰三才本性、曰帝皇王伯学术、曰九流学术、曰天文、曰地理、曰帝王绍运,以百官终焉,各述大旨陈之。”[①]后赵扩即位为宁宗,他被封为礼部尚书,兼侍读。由此可见,王致远所建图碑是以黄裳当年所绘八图中的四幅为底本的。李约瑟《中国科学技术史》一书中称:“中国的平面球形星图以公元 1193 年绘制的为最有名,当时绘制的目的是为了给年轻的宋宁宗(1195—1224)讲解天文学。这张图于公元 1247 年刻石,至今仍以石碑的形式保存在苏州孔庙。”看来叙述是大体符合事实的。





天文图碑高 216 厘米、宽 108 厘米。分上下两个部分。上部为一圆形星图,下部刻有相应的说明文字。图 7—9 是天文图碑的星图部分。

星图部分额题“天文图”三字。其外围直径约 91.5 厘米,其中绘有星象的部分直径约 85.3 厘米。它以北天极为中心,描绘了全天可见恒星的相对位置情况。其绘制方法与我们在本章第一节中所谈到的盖图是基本相同的。虽然中国古代早就在汉代甚至更早就已开始绘制盖图了,但能流传下来的当以该星图为最早。它为人们了解盖图提供了可靠的实物资料,即使盖图发展到该图绘制的时代可能已经有了相当的变化,但其在学术上的意义仍然是十分重要的,受到科技史专家们的高度重视。作为恒星赤纬方向上的参照,星图上以北天极为圆心绘制有三个同心圆,从里至外分别是上规(即恒显圈)、天赤道和下规(即恒隐圈);其直径分别是 19.9

① 《宋史·黄裳传》。

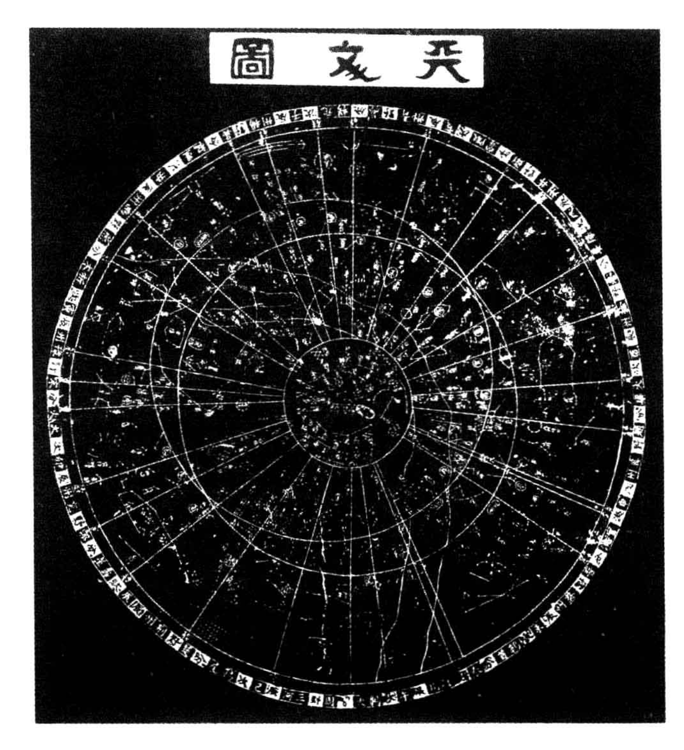



图 7—9　苏州南宋石刻天文图碑上的星图(拓片)

厘米、52.5 厘米和 85.3 厘米。在上规与下规之间的区域中有 28 条从北天极方向辐射出的间距宽窄不等的线条,它们就是通过二十八宿距星的宿度线。在其与下规交点处的外边则注有相应的宿度数据。在下规之外两个半径略有不同的同心圆周之间的环形区域内则分别均匀刻有相应的十二辰、十二次和分野的名称。与《新仪象法要》星图类似,其二十八宿宿度数据与元丰年间的观测值相同。星图上各星象均为点状凹陷,同一星官中各星有细刻线联系。图中也有黄道的标志,它是一大小与天赤道圆相仿的正圆,但其圆心偏离北天极。由于天球上的黄道投影在与北天极相切的平面上时不应该是一个正圆形,该黄道与实际位置情况有较大的出入,它实际上只是象征性的,对确定黄极在恒星之间的位置尚有一定的作用,用来确定春、秋分点的位置就会出现明显的偏差。图上还用细线绘出了银河在星空中的轮廓,虽然其准确性尚有欠缺,但作为中国历史上存留的星图中最早出现的形象,确能大体上描绘出银河的走向和宽度上的变化,应该说还是具有相当的学术意义的。

星图的文字说明标题亦为“天文图”,共有 41 行,其中夹杂有双行小字注文,总字数为 2 140。其主要内容是叙述当时人们所掌握的天文知识。它首先从派生万物的本原“太极”开始叙述,对天、地、日月星辰的形成、人类的诞生等重大哲学问题



均有涉及，虽然叙述简略，但将元气学说中的相应观点表达得相当清楚。接着谈到的“天体”实际上相当于近现代的天球概念，除了对周天分度情况做了一般叙述外还指出“凡一度为百分”，这是将1度划分为100分的明确记述，为元代郭守敬在授时历中角度单位采用百进制开创了先例。叙述中还有：“天左旋，东出地上，西入地下，动而不息，一昼一夜行三百六十六度四分度之一。”这一认识虽然并不正确，在当时的条件下人们不可能认识到恒星和其他天体的周日视运动不过是地球自西向东自转的反映，但它谈到天每天运行 $366\frac{1}{4}$ 度的认识是向恒星时的原始概念前进了一步。在第三章中我们曾经谈到元代的赵友钦为测量恒星的赤道经度使用了一种按恒星时运行的漏壶，看来就是源于这一认识的。其对“地体”的叙述基本仍是地平说的观点，但明确了除了“土石之体”外有水与天相接，也同样属于“地体”的范畴，得到地的半径与天相等的概念。这一概念在以前的地平说中虽然也有，但这里叙述则更为明确。叙述到“两极”时则讲到：“自地上观之，北极出地上三十五度有余，南极入地下亦三十五度有余。”这表明星图所对应的观测地点是在北纬35°左右，这相当于是与河南省开封市同一条纬度线上的地方，很可能元丰年间的恒星观测就是在开封进行的。其后还谈到赤道、日、黄道、月、白道、经星、纬星、天汉、二十四气、十二辰、十二次和十二分野的有关情况，但均未提供太多的新信息，其中倒有相当多的非科学的星占文字。在谈到“经星”的部分指出：“经星，三垣，二十八舍，中外官星也。计二百八十三官，一千五百六十五星，其星不动。”看来其恒星体系介乎三家星官体系与三垣二十八宿体系之间。虽有三垣、二十八宿，但它们可能只以星官的面目出现，而非作为星区的名称。其他星官并不是分别与三垣、二十八宿联系在一起的，而是统称为中外星官，这就与三垣二十八宿恒星分区体系有差别了。但它又未用不同的标志在星图上标示分属于三家星官的恒星，对分别属于石氏、甘氏和巫咸氏三家的中官和外官则统称为中外星官，这也就与三家星官体系不同。由于星图只是以图形来表示恒星位置的情况，恒星分区体系对其显得并不重要，并不像在依次叙述恒星位置时会出现是否清楚、方便的问题，故说明中恒星分区体系的不正规对其并无妨碍。这种不正规的体系也可以说是中国古代的又一种恒星分区体系吧！其叙述中的分野虽未具体列出，但从星图上的分野名称所在位置来看，与《晋书·天文志上》所载大体上是相同的，只有两三处有差异。在分野与十二次的对应关系上两者也略有不同。对于“日”、“月”两部分中有将太阳、月亮的视半径都说成是一度半的情况，有人认为这是黄裳的错误认识，这其实是沿用了唐代以来的一种说法。在《新唐书·天文志一》中谈到一行、梁令瓒制作的黄道游仪时就讲到：玉衡望筩“外方内圆，孔径一度半，周日轮也。”这实际上是在游仪上各规环的刻度是“以古尺四分为度”，望筩的“孔径六分”，恰合一度半。由于规环的刻度是从圆




心处视其张角的，而望筩恰在圆的直径处，从一端视另一端的六分所张角度则是圆周角，则应为圆心角的一半，即 0.75 度；再考虑到要将整个太阳或月亮的圆面放在视场中，视场也就应比太阳、月亮的视直径大些，故这一数值的偏大也就是可以理解的。但从此以后人们却错用一度半来作为太阳、月亮的视直径，这当然是不适当的。这一错误连北宋著名科学家沈括也未能觉察，在其《浑仪议》中就有“衡上下二端皆径一度有半，用日之径也”的叙述，我们就更不能对并非天文学家的黄裳有所苛求了。

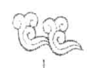
## 三、苏州石刻天文图碑研究

天文图碑上的恒星位置所对应的观测年代是人们感兴趣的问题。通常研究星图的观测年代可以由春、秋分点在恒星之间的位置通过岁差公式进行计算来得到结果。上面我们已经讲到，以北天极为中心的盖图上黄道的投影不应呈正圆形，天文图碑上的黄道却偏为正圆，这就使其与天赤道的交点即春分点和秋分点的位置与实际位置之间产生了偏离，从而无法由其研究恒星位置所对应的年代。陈遵妫所著《中国天文学史》中依然由其来确定星图的年代显然是欠妥的。正如潘鼐在《中国恒星观测史》一书中所说：“图上的春分点约为奎宿 3 度半强，秋分点约为角宿 5 度余。用这两个数值推算的结果，照春分点约为公元 800 年，照秋分点约为公元前 50 年，相差甚远，且不合理。”“图中赤道上，从春分点经夏至到秋分点接近 194 度，而从秋分点经冬至到春分点却只有 171 度半，两者应相等而不相等，且差得很多，主要就是这个缘故。”在同一本书中潘先生从六个方面验证了该星图的底本出于宋代，其中之一是二十八宿宿度值与《元史》《文献通考》中所载元丰年间的实测数据完全相同，这在上面说到星图的布局时已经谈到过。南宋王应麟所辑《玉海》中提到该图为《黄裳天文图》，且其所编《六经天文编》中的有关叙述除个别字外与石碑上的文字说明完全相同。这是又一论据。图碑上有多处避宋讳的例证，则是第三条论据。另三条论据都是通过计算得到的。他首先在春、秋分点前后各选取 15 颗近黄道且已被证认无误的恒星，考虑自行等长期变化，修正其黄纬数据，并据此在星图上绘出一条黄道的轨迹，由其与天赤道的交点来确定春、秋分点的真实位置，从而推算出星图的历元。得到其年代约在公元 1100 年前后的结果。根据在赤经为 $6^h$（即 90°）和 $18^h$（即 270°）附近高赤纬恒星与低赤纬恒星所受到岁差的影响之差异最大的特点，他又考察了天棓右中星（天龙座 β 星）和箕宿距星（人马座 γ 星）、五车东北星（御夫座 β 星）和老人星（船底座 α 星）两对恒星在 2 000 年中相互位置的变化情况，得到这两对恒星的位置如天文图碑中所示情况时所对应的年代与公元 1000 年比较接近。再根据赤经 $0^h$（即 0°）和 $12^h$（即 180°）处的恒星赤纬岁



差较大的特点，在恒显圈边界附近选取了北斗的末一星摇光（大熊座 $\eta$ 星）进行了计算，得到它如天文图碑上所示恰好在恒显圈边界上的年代也大致在 1000—1100 年之间。取王良星官的主星（仙后座 $\beta$ 星）进行校核演算其结果也大致符合。以上三种运算的结果都十分接近，似均表明星图所据的资料确系源于北宋元丰年间的恒星观测结果。然而潘鼐的结论仍十分慎重："根据上面的考证，苏州天文图碑所采用的是宋代的实测资料，黄裳绘图撰文，王致远镌刻。此碑确系我国宋代的天文图碑，距今已近七个半世纪了。"有以上六个方面的论证看来肯定是没有问题的，虽然有关的计算结果的几乎一致可能归因于存在某种主观上的因素。因为在计算过程中均需要在图上进行相应的估算，这种人为的判断就难以做到完全客观。

为了校核天文图碑上星象刻制的精度水平，北京师范大学杜升云先生曾在图中选取了 266 颗星象，通过在图上的测量得到其赤经和赤纬数据，然后将其与用现代的公式和数据计算所得的相应值进行比较，得到其均方误差约为 $\pm1^\circ.5$ 的结果。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中也进行过同一性质的工作。他采取的方法是在星图上选取经过证认完全无误的恒星 20 颗，分别量取其去极度和入宿度数据，然后将其与他在该书中确定的皇祐年间恒星观测得到的相应值及清代康熙初年徐发所著《天元历理》中所载元丰年间观测的入宿度相应数据进行比较，求得其间的偏离情况，得到大部分星象所出现的偏离只在 1 度上下，只有个别星的偏离较大。从而得到"按照当时的水平，这两份表（注：即潘鼐得到的星象去极度、入宿度的偏离表）可说明天文图上这些较显著的星的位置与皇祐、元丰年间的观测值，二者是甚相近的"的结论。但他也不否认确有一些星象的位置不太准确。他还对天文图碑上二十八宿宿度线位置与元丰年间所测宿度值之间的偏离进行了分析，得到大部分偏离均不大于半度，最大偏离也只有 1.2 度的结果。其平均偏离仅为 0.38 度，这在星图上的天赤道处只相当于 1.7 毫米，与星图上刻线的粗细（1.5 毫米左右）也相差不大。从星图的尺寸上看，恒星的去极度平均 2.88 毫米为 1 度，入宿度在赤道上则约 4.55 毫米为 1 度，星图上的星象标志直径也为 1.5～2 毫米。与这些情况相对照，他认为尽管有 1 度上下的偏离，"这些主要恒星的位置，应该认为是相当准确的"。由于石刻星图的制作首先必须绘制底图，然后再在石材上复制底图的图样，然后才能由石工镌刻，在这多项工序之中就不可避免地出现恒星位置上的失真，各坐标线条也会有一些变动，以上的偏离情况相对来说倒确是不太严重。潘鼐还认为黄裳所绘的天文图很可能是根据原有的图复制或改绘的，其依据是图及说明中出现的某些谬误可能由此而产生，看来理由并非很充分。不过倒很可能王致远在四川得到的四张图本来就不是黄裳的原图，而只是其摹本。如果真是这样就又多了一道出现偏离的环节了。

对于天文图中的星象，潘鼐也做了校勘，他将其与《宋史·天文志》、《步天歌》中的叙述及《新仪象法要》中的星图进行了比较，发现天文图中的星象比传统星官多了6处共15颗星，而在传统星官中又有7座星官各多绘了1颗星，共计多绘了22颗。但它又在26座星官中漏绘了43颗星，并漏绘了7座星官共8颗星，共计少绘了51颗星。加上《宋史·天文志》中独有的弼星，共漏绘了52颗星。这样天文图上实有的星数实为1 436星，比文字说明中声称的1 465星(碑文上误为1 565星)实际上少了29星。另外还有5星仅列其名未见星象，21座星官仅绘星象未注星官名称。有些星名中有错字、衍字或漏字。以上错误或差异，潘鼐均一一列出，其工作相当认真细致，对人们全面了解天文图碑的情况是具有积极意义的。他认为:“按照封建社会里勒石的方法和习惯，经办者王致远的职位，以及树碑于文庙的重要性来看，应该说，绝大部分的错误乃是黄裳或他所委托的人在复制或仿绘时就产生了的。图下文字部分仅有个别错字，亦足以说明主要错在原图。”这一观点是较难服人的。由于图碑的经办人、在石料上绘图者、镌刻者都不是天文工作者，在这样星数众多、名目繁杂的星图制造过程中出现这么多错误实际上并不奇怪。而作为嘉王教师的黄裳理应具有相应的天文知识，出现这些错误之处倒是难以理解的，不然的话他怎么能够用该图教授嘉王有关的天文知识呢？不管怎样，星图上出现的这些错误虽然不少，但总体来看所占的比重依然是很小的。

从以上的情况我们可以看到，苏州天文图碑相对完整地反映了北宋元丰年间恒星观测的成果，虽然星图上确实存在个别不合理之处，出现了某些差错，但整体上来说它绝非粗制滥造之物，其构图严谨规范，镌刻精致有序，星象位置虽有误差，但其相对位置、排列形状均与实际情况无大出入，显示了不可低估的科学价值。由于它是以石刻的形式公诸于世的，在敦煌星图被发现以前它就是最古老的星图。它又是以盖图的模式绘制的，从而使这一古老的星图样式得以留传下来，故其在中国天文学发展史中的地位一直是受到相当重视的。李约瑟在《中国科学技术史》一书中以“中国的平面球形星图以公元1193年绘制的为最有名”作为对该图介绍的开头，对其给予相当的注意。近代以来中外学者也对其进行了不少研究和介绍。





## 四、两种较晚的石刻星图

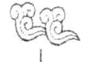
作为苏州石刻天文图碑的延伸，明代又出现了常熟石刻天文图。它刻于正德元年(1506)，碑高约2米，宽约1米，厚24厘米左右。其外形、尺寸、形制等方面均与苏州石刻天文图碑相仿。其下半部分的文字说明题为《天文图跋》，共23行，381字。由于碑面经日久风化，字迹已有些模糊不清。车一雄、王德昌在《常熟石刻天



文图》[①]一文中参考《海虞文征》十五卷中所载予以转抄全文。从内容上看，它比苏州天文图碑的文字说明要简单了许多，有关各项大多仅有只言片语涉及。关于星图，谈到："此图宋人刻于苏州府学，年久磨灭，其中星位亦多缺乱，乃考甘、石、巫氏经而订正之，翻刻于此，以示后来庶几欲求其故者得观夫大概。"可见该星图基本上是苏州石刻天文图的翻刻，但也有某些更改。在《海虞文征》卷十五中还记述到："吏部考功大夫杨先生名父，尝令吴之海虞，树碑宣圣庙戟门，左图天文，右图地理，拓者甚众，日就磨灭。予命工重镌之石，用彰不朽。……正德元年孟春常熟县柳州计宗道手书。"联系到"天文图跋"中的署名有"前常熟知县慈谿杨子器跋　大明正德元年孟春　赐进士文林郎常熟县知县柳州计宗道手书"的情况可知，在正德元年常熟县令计宗道树立此碑以前，其前任杨子器(字名父)就曾经树立过天文图和地理图二碑，杨子器于明弘治九年(1496)至十二年(1499)任常熟县令，树碑写跋应在此期间。计宗道重刻此碑距此最多也只有 10 年。该碑原立于旧县学戟门之左，现由市文物管理委员会保管。

由于常熟石刻天文图基本上是脱胎于苏州石刻天文图碑，它们有许多共同之处也就是理所当然的了。它们不但在外形上十分相像，而且其所表现的内容、体制、基本数据等都是大体相同的。甚至连"跋"中恒星的数目也沿用了苏州天文图碑上"一千五百六十五星"的错误数据而未改。其尺寸比苏州天文图碑略小，上规直径约 18.4 厘米，赤道规直径是 45 厘米左右，下规直径则有 70.8 厘米，下规外的重规外径约为 79 厘米。与赤道规相交的直径为 44.5～45 厘米的圆则是黄道规。它与苏州天文图碑中的一样，与黄道的实际位置情况有较大的差异，使图上的春、秋分点的位置出现了偏差。以上规的圆周为起点，也绘有 28 条辐射状宿度线直抵下规的圆周处，其外边则注有宿名和宿度值。重规上也注有相应的十二次、十二辰和十二州郡分野。这些基本上都与苏州天文图碑相同，只是在编排的次序和表达方式上小有差异而已。星图上所绘银河的形状与苏州天文图碑也大体相似，但在走向上略有不同。





由于常熟石刻天文图是在觉察到苏州天文图碑"星位亦多缺乱"的情况下刻制的，它对后者也就做了一定程度上的订正。据车一雄、王德昌的文章中的统计结果，它订正了苏州图碑中 19 个错误的星名；填补其有星无名者 22 处，有名无星点 4 处；在 28 座(注：据文中表 5 应为 26 座)星官中增补了 45 颗星；在 11 座星座中剔除了多刻的 11 星；去除了 4 座多出来的星官共 14 星；增添了漏刻的 4 座星官共 6 星；纠正了一星二名、星名偏离星点、分属不同星官的恒星之间有连线等差错。按

① 见《中国天文学史文集》，科学出版社，1978 年。

照作者的统计，常熟石刻天文图共有 284 座星官 1 466 颗星，而苏州天文图碑只有 280 座 1 433 颗星，后者少了 4 座星官，星数上则少了 33 颗。与《晋书·天文志上》中所引陈卓三家星官“大凡二百八十三官，一千四百六十四星，以为定纪”的叙述比较，常熟石刻天文图中的星数显然是十分接近的。仅就这一点而言，该图的订正还是取得了一定的成效的。车、王的文章中还提及：“《苏州石刻天文图》以纽星为极，常熟图的赤极……它在纽星和句陈之间，离纽星约 3 度。根据岁差，在 316 年中，赤极绕黄极运动约 4°.1。因此，从赤极的选取来看，常熟图似乎是考虑岁差的，但从下面可知，常熟图基本上是没有考虑岁差的。”文章在其后则根据星图上北斗的第七星摇光（即大熊座 $\eta$ 星）在恒显圈内和天棓三（天龙座 $\beta$ 星）的赤经比箕宿一（人马座 $\gamma$ 星）大的情况，认为常熟石刻星图是未考虑岁差的。看来这是符合实际情况的。由于中国古代在明末之前对岁差现象在恒星坐标方面的影响基本上并无清楚的了解，人们实际上并未认识到岁差的本质，只了解其对回归年长度的影响，而从未将恒星位置的变化与岁差现象联系起来，在这样的情况下要求人们在绘制星图时考虑岁差的影响未免是期望过高了。只是在明末以后西方先进的天文学知识传入后，人们对岁差现象对恒星坐标的影响有了充分的了解，才有可能使这一认识在星图的绘制上反映出来。至于常熟石刻天文图上北天极（即所谓赤极）的位置离纽星 3 度则很可能是反映了当时人们的认识，不过由于该图基本上只是苏州石刻天文图碑的翻刻，除这一改动之外也就没有其他作为了。事实是否真是如此呢？有无可能北天极的位置变化只是在翻刻过程中某种偏差的巧合呢？看来只有待于进一步的研究了。车、王的文章还对该星图中各星官的星间连线情况与苏州天文图、《新仪象法要》星图进行了比较，列出了它们之间的差异。为了得到星图上恒星位置的精确度，文章对二十八宿距星在图上量取的去极度数据与苏州天文图、《新仪象法要》星图进行了比较，得到其恒星位置的精度比后两星图低的结果。通过一系列的考察，文章的最后结论是：“常熟图是仿照苏州图刻制的，订正了苏州图的星位缺乱部分，但未改正岁差，星官名称基本按照《宋史·天文志》，另考甘石巫氏星经，星官连线等多数根据《新仪象法要星图》。”“虽然某些星官的位置准确度此图较低于苏州图，但是此图仍不失为是《敦煌星图》、《新仪象法要星图》和《苏州石刻天文图》之后的一幅重要星图。无疑，它在我国天文学历史上也占有不可忽视的地位。”对其评价看来还是相当公允的。由于中国古代遗留下来的星图实物确实很少，作为现存的第四幅全天星图，它仍然是十分珍贵的。



潘鼐《中国恒星观测史》一书中也对常熟石刻天文图进行了评述考校。他认为星图仍是以纽星为极星，其与图上的北天极相距约一度半，而不是车、王文章中的 3 度，这与苏州天文图与实际情况相去不远。从图上的上规尺寸与天赤道、下规的



比例分别可以算出星图对应的观测地点纬度分别为36°.8和38°.4，两者相差较大，不如苏州图的两值与开封纬度那么相符。某些星象的位置也没有苏州图中的准确，星官图形也有差异，他认为这是“杨子器刻碑当年，在采用‘甘、石、巫氏经’做订正时，恐怕是参用了这书内所附的星象图，图的时代较古，星象齐全，然而准确性却相当欠缺”的缘故。看来这是相当可能的。潘鼐指出，该星图在基本上订正了苏州天文图中错误的同时也有个别新的错误(如有的地方多刻了一星)，“总的说来，常熟石刻天文图，虽不少地方科学性较差，但星名星数齐全而正确，不失为一幅星象完整的优良古星图”。他对该图给予了积极的评价。

在内蒙古自治区呼和浩特市五塔寺(清代曾名慈灯寺)的金刚座舍利宝塔塔座后墙上现仍保存有一幅石刻星图。它是由8块石料拼在一起刻制而成的。星图呈圆形，其直径为144.5厘米，也以盖图的形式刻绘。其上规直径18.3厘米，赤道规直径51.4厘米，黄道规直径73～76厘米，显然不呈正圆形。星象刻成圆圈外有规则光芒状，以表示不同星等。图的下侧偏左绘有图例，给出不同星等的恒星标志，并有蒙文字样“钦天监绘制天文图”，当是该图的标题。据潘鼐《中国恒星观测史》介绍：“图上星象差错较多，有增衍，有缺失，舛乱颇甚，校对不易。据有关资料统计，得传统星座1 031星，南极星座36星，两共1 067星。从图上消去天庙、器府、军门、土司空等座，以及从《灵台仪象志》较特殊的市楼2星、钩铃1星、杵2星、九坎4星、右旗6星、败臼2星、天大将军10星、军市7星、青丘3星等诸座来甄别，它是一幅清初据《灵台仪象志》绘制的星图。”由于五塔寺建于雍正五年至十年(1727—1732)期间，这时《灵台仪象志》已经刊行，而《仪象考成》至乾隆十七年(1752)方才编撰完成，故当时钦天监所提供的恒星图表只可能是与《灵台仪象志》一致的，潘鼐的甄别结论是可信的。从整个星图的情况来看，它与苏州石刻天文图碑的体制是一脉相承的。由此也可以看到后者还是具有相当深远的影响的。




## 第六节　北京隆福寺正觉殿藻井星图

在南宋苏州石刻天文图碑以后，我国古代又出现了一些颇有特色的星图，在明末之前比较突出的是元代《天文汇抄》星图、《郑和航海图》中的《过洋牵星图》、北京隆福寺正觉殿藻井星图。本节的重点是介绍第三种星图。

### 一、元《天文汇抄》星图和明《过洋牵星图》

元代初年大规模的恒星测量取得了相当辉煌的成果，可惜有关的观测数据未能留存下来。只是在北京图书馆所藏明抄本《天文汇抄》中的《三垣列舍入宿去极

集》一卷中人们寻觅到有关数据的踪迹，并认为它就是当年郭守敬观测恒星位置所得到的数据，并命名其为《郭守敬星表》。这些我们在第三章和第五章的有关内容中已经讨论过了。我们已经讲过，所谓《郭守敬星表》的编排形式也十分独特，它是采用在星官图形上加注坐标数据来表示的，这样与其说它是星表不如说是星图更为确切。这些星官的图形分别绘了75页。有的图上只绘有一个星官，也有的两页合成一个星官，更多的是一页中绘有数个星官，尽管有时这些星官并非相邻星官而在图上并不能反映其相对位置情况。各星象均用圆圈表示，同一星官中各星象之间有细线连接在一起。星象的大小相仿，绘制精细，线条纤细平滑。各星官均标有名称，个别有特殊名称的恒星也予以注明，再加上各恒星的坐标数据，过多的文字虽使星图显得相当杂乱，但各星官的形状、各星之间的相对位置还是比较清楚的。由于它只是一种描绘很小天区(有时甚至需两页图拼合来表示一个星官)的星图，各星图之间较难建立起联系，要通过它对全天恒星的相对位置情况有所了解就是相当困难的。尽管可以通过星象旁所注的恒星坐标数据大体上可以了解各星官的位置情况，但终究没有全天星图那样直观形象。第六章已经讲到过，该星图中共有741颗恒星注有坐标数据，加上只绘出星象未注数据者共有1 374颗恒星。

《郑和航海图》是明代初期郑和率领船队七次下西洋的远航壮举的产物，这在第四章中我们已经讲到过了。其原名是《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番国》,《郑和航海图》只是后人对其的简称。其主图是一横条形的航海路线图，其后附有4幅被称为《过洋牵星图》的星图。它们分别是古里国往忽鲁谟斯、锡兰山回苏门答剌、龙涎屿往锡兰、忽鲁谟斯回古里国的过洋牵星图。图的正中各有一绘有海船在海洋中航行的图画，其方框的外边均各绘有一些星官的图形。星象以圆圈表示，星官中各星以细线连接。星官附近则注明其名称和地平高度。这些星官看来只是在海船上进行天文导航时的观察对象，它们与图中央海船的方位情况，实际上就是航行中观测该星官的方向。虽然星象相对位置的绘制并不十分规范，所涉及的恒星也极其有限，然而由于它们确是我国古代航海导航专用星图中现存最早的4幅，其在中国古代星图史上的重要地位仍然是十分引人注目的。



## 二、明隆福寺星图的布局

北京隆福寺建于明代景泰四年(1453)，原系皇家的香火院。清光绪二十七年(1901)遭火灾，正觉殿幸免于难。1977年夏该殿拆除时发现其顶棚藻井上绘有一幅恒星图，遂被北京市文物管理处悉心保管，现藏于北京天文馆。藻井呈八角形，每边长75.5厘米，其长宽均约有182厘米，厚约4厘米。其表面裱以粗布为衬，涂上深蓝色油漆作为天空的背景，再在其上用沥粉堆金描绘星象图形。整个星图的



布局采用了传统的盖图画法。其直径约174厘米，以北天极为圆心绘有三个同心圆，即上规、赤道规和下规。它们的半径分别约为15.8厘米、47.5厘米和80.5厘米。据《中国古代天文文物图集》中的说明可知，其圆心处是北极星官中的天枢（纽星），而该星与北天极最接近的年代是公元850年前后，人们据此认为虽然这幅星图的绘制年代在公元15世纪中叶（稍早于隆福寺建成的年代），但其原图可能却是"历代相承的唐以前的古星图"。该图的下规之外还绘有两道同心圆，其半径分别为82.9厘米和86.3厘米，组成重规。在内规到外规的范围内绘有28条通过二十八宿距星的宿度线，并在其与下规相交处外注以宿名。重规分成12等份，每一等份中依次注有十二次、十二辰、十二分野和相应的州郡名称。与上面已经谈到过的盖图不同，该图中未绘黄道规。由于黄道在盖图上的投影不应是正圆，将其绘成正圆会给春、秋分点的位置造成偏离，而按照实际投影绘制却又难以绘制准确，而且在星图上绘制黄道，对以北天极为中心的盖图来说也没有太大的意义，看来省略掉黄道规倒也应算做是聪明之举。由于星图上稍有残缺，经统计图中恒星数为1 420颗。潘鼐根据《中国古代天文文物图集》中所载星图摹本与陈卓所定三家星官及《步天歌》中叙述的283座星官1 464颗星的体制进行校核，得到该星图摹本上漏绘星官10座，共少44星，即总计有273座星官1 420颗星。但另外又多了12颗星，并还另附有24处未明身份的小黑点，如不计后者则共绘有恒星1 432颗。在星官内各星的连线上也有个别误绘或漏绘之处。

## 三、星图年代的讨论

与认为该星图的原图可能是唐代以前的古星图的意见相左，潘鼐认为该星图的底本"乃是元代的作品"。在其所著《中国恒星观测史》一书中从6个方面进行了论证。首先，他参照对苏州石刻天文图碑分析的方法对天棓右中星（天龙座β星）与箕宿距星（人马座γ星）、五车东北星（御夫座β星）与老人星（船底座α星）左右位置的相对情况进行了归算，分别得到它们与公元1390年、1270年对应的结果，平均年代就是在元代。其后他又计算了星图中紧贴上规内边界的摇光（大熊座η星）和与之相对的策星（仙后座κ星）所对应的年代，结合观测地点进行考查，得到摇光所对应的年代恰为13世纪元初，而策星却对应于10世纪宋初。但他认为这种偏离可能是由于星象有一定的大小，星图经传抄翻刻中又出现了失真所引起的。第三，他计算了离宫星官中的三颗星和伐星的入宿度数据，发现从星图上量取的这四颗星的入宿度值与郭守敬星表中相应数据比较接近，而与《新仪象法要》星图中的位置有稍大的偏离。不过从其所列数据的情况看来倒似乎难以得到这样的结论。第四，他从星图上所注分野州郡的名称来看，认为有些与早期的规定不同，表




明星图的年代可能在唐代到元代之间。第五，他根据在星图上量取十二次起迄点的入宿度与《晋书·天文志上》所记《三统历》的相应度数、《新唐书·天文志》中所记相应度数进行比较，发现其变化趋势"明显地告诉我们该星图的时代大约处在元代前后"，虽然其中也有三次的数值与此结论并不符合。他认为后者产生的原因是星图上个别次的范围画得不够准确所致。最后，他又对星图中所采用的二十八宿宿度数据进行了计算。由于星图上并未注明宿度数据，这些值均是从图上量取后进行归算得到的。将其与唐、宋及元代各宿度数据进行比较，发现由于岁差的影响，东方七宿、西方七宿的宿度之和有所增加，南方、北方各七宿的宿度之和在减少，星图上每七宿宿度之和都与元代至元所测值较接近，而与唐代开元的相应值有较大差别。由以上情况可见，潘鼐6个方面的论证实际上并不完全支持他所得出的结论，但有的看来还是较有说服力的，应该说还是倾向于这一结论的。然而他终究很难解释星图的北天极为何与天枢星符合得相当好，尤其是在宋代的一些星图就早已将北天极与天枢星分开以后依然还出现这种情况应该说是不可思议的，这只能以该图的底图对应于较早的年代来解释。看来要得出最后的结论尚为时过早，这就有待于人们的进一步深入研究来给出满意的回答。

作为古建筑上绘制的古代正规星图，隆福寺正觉殿藻井星图可说是绝无仅有的。它绘在顶棚藻井上，人们观察它要采取仰视的方式，这与观察实际星空也就有了相应的共同之处，也给人们以苍天高深莫测之感，其所具有的象征意义是很明显的。这幅星图绘制得相当规范，星官图形也大体上准确无误，星象数目庞大但相对位置情况能基本如实反映，其科学意义远非单纯具象征意义的星图可比。其图式为古代传统的盖图，除未绘黄道规和银河外，其他内容均能完备地表现出来，而未出现概念上的错误，故该星图确是一幅具有相当科学价值的专业星图，是一件珍贵的天文文物，值得人们进一步研究，以揭示其所对应年代的天文学发展水平。





## 第七节　莆田涵江天后宫星图

### 一、天后宫星图及其科学意义

新中国诞生不久，福建省莆田县文化馆就从该县涵江镇的天后宫中征集到一幅明代星图。天后是传说中的海神。原为宋代莆田林愿的第六个女儿，学道升天后屡次在海上显灵而被尊为海神，元代至元年间被朝廷封为天妃，清康熙时又被加封为天后。旧时在通海之地常为其立庙以祷祀，其庙就称为天妃庙、天妃宫、天后宫等。离涵江2千米的三江口是当地优良的商港，涵江镇的海运也就十分繁忙。



镇上建有天妃宫（俗称旧宫）和天后宫（俗称新宫）。明代星图从后者收集而得。天后宫建于清代乾隆四年(1739)。每年的农历三月二十三日相传为天后的诞辰，举行祭祀活动时正厅挂4幅绘有天后生平和显灵事迹的大型卷轴，偏厅则悬挂该星图，下摆设一巨大的海螺，以象征祭天祭海。至于该星图的来历则不得而知。

星图为大型卷轴式画图，已有残损，并有烟熏痕迹。星图长150厘米、宽90厘米，其上下端均有文字说明，上端的文字因残缺严重已难以读知其内容，但从其残留的文字来看，当是与天文知识有关的。下端的文字分上、下两部分，分别用楷书和仿宋体书写。除右端有残缺外尚属完整。上半部分除中间一段列有四方、二十八宿的名称以外，其内容可大体分为三部分，即太阳行度过宫的歌诀、太阳躔度过宫的歌诀和关于中天紫微垣各星官的方位的说明。下半部分则是关于二十八宿的叙述，每宿都是先叙述宿度，然后则是《步天歌》中相应的叙述。这里所列的二十八宿度值未见于其他记录，度以下的尾数以百进制表示，即1度划分为100分，这与元代郭守敬的分度方法是一致的。但在元代授时历中的宿度值均精确到5分，而这里却是精确到1分的，似乎比元代的数据有所提高。但具体情况如何还是要考察它与准确值之间的偏离情况才能确定。

星图位于画卷的中央部分。总的看来，它也是采用了盖图的绘制方法，但在某些细节上却有相当的不同。它与其他盖图类似，也是以北天极作为中心的。以其为圆心用墨线绘有4个同心圆。内圆直径仅有3厘米，在其与第二个圆所组成的圆环区域内用四卦、八天干和十二地支的名称列出了二十四个方位的标志。第三个圆则是星图的上规，其直径约17厘米，圆周下方注有“常现不隐圈”字样。外圆直径有62厘米左右，它就是星图的下规，在其下端南方老人星附近则注有“常隐不现界”字样。与上面谈到过的盖图不同，该图的赤道规不是以北天极作为圆心的。图上用红、黄线分别绘出的赤道规与黄道规的圆心都与北天极有一3.8厘米左右的距离。对于以北天极为中心的正方位投影来说，赤道规的圆心是应与北天极重合的，星图采取这样的绘法显然是不合理的。这或许只是为了使图上黄道规与赤道规的交点与实际上春、秋分点在恒星之间的位置不致相距太远而采取的措施。从星图影摹本上分、至点连线的交点在北天极的附近看来，这种画法虽不合理，但还是具有明显的效果的。黄道规、赤道规的直径均为35.7厘米左右，由于采取了偏心的画法，两者均与黄道、天赤道在恒星间的位置有一定的偏差。星图在从上规到下规的范围内也绘有28条辐射状的宿度线，其间隔宽窄不等。潘鼐的《中国恒星观测史》一书中曾谈到，量取图上各宿度线间的弧距并归算得宿度值，与星图上文字说明中所列宿度值进行比较，发现两者之间也有较大的差别，差别不超过半度者仅有十宿，最大的为斗宿，相差竟达5.4度。指出“这似乎同宿度线绘得不准确




有关系。许多宿度线并不通过该宿的距星”。文字说明中的宿度值与《崇祯历书》中赤道宿度相比,两者相差不超过半度者也仅有十二宿,其余也有较大的差别。故看来要核准星图中所对应的宿度值是比较困难的。井宿的宿度线绘成红色,其上还画有188条红色短画,这可能是用来作为赤纬方向上坐标刻度的标志。在下规的外边2.5厘米的圆环内也画有两圈长方形小格作为刻度,内圈为墨线,画了377格;外圈为红线,画了391格。这些刻度既与我国古代将一圆周划分为365 $\frac{1}{4}$度不同,也与西方传入的360°制有异,它们是否确是角度单位?其有无历史渊源?看来是值得深入探索的。星图上的星官基本上依据传统的三垣、二十八宿体系绘制,据福建省莆田县文化馆《涵江天后宫的明代星图》一文中统计,全图共画有288座星官,约有星1 400颗(不包括模糊难辨之星)。其北斗七星和二十八宿星官绘成红色,其余各星均呈黑圈白点。图中星象的大小有别,似表示星象的亮度即星等上的差别。但潘鼐经过仔细考察发现情况并不尽然,存在亮星与暗星同等大小,甚至亮星小于暗星的情况。他还指出“有相当一部分星座的形状与相对位置都不够正确”,认为星图的底本“当是一幅内容完整的星图,可惜描制者大概是位画师,由于他不是内行,而仅得其大略,只得到了局部的形似。”这一看法或许是正确的。在星图的最外围宽12厘米的范围内分别用工笔彩绘了九曜、二十八宿的神像,并衬以云彩。其人物造型之生动飘逸,显系出于专业画师之手,如果星图也系同一人所绘,出现一些差错也就不足为怪了。

由于星图上在王良星官附近绘有一颗客星,福建省莆田县文化馆的文章中认为“这对于断定星图年代是很重要的依据”。由于该客星位置与《明实录》中所记“隆庆、万历客星”比较一致,它实际上是公元1572年在仙后座出现的超新星,丹麦著名天文学家第谷曾观测到它而被命名为“第谷新星”。星图上有这颗新星表明该星图的年代不会早于其出现年代。文章又注意到星图上未避孔丘和清代康熙皇帝的名讳,认为此图的年代下限可定为明末清初。从该星图中的绘画风格、颜色、纸张进行鉴定,也认为它是明末清初的作品。潘鼐《中国恒星观测史》中也持相同的看法。他还指出:明末西方传教士来华以后罗睺和计都才较多地在历法中出现,从而有九曜星官的名称;恒显圈附近的恒星位置在明末清初时与星图大部分相符;两对赤经变化较为显著的恒星在星图上的位置均与15世纪初基本对应;星图上春、秋分点的位置大致上相应于11世纪初和15世纪初;从而从四个方面来支持这一论点。看来将星图所对应的年代定在明代后期至清初是没有什么问题的。不过从星图上绘有“隆庆、万历客星”的情况似可排除清初的可能性,因为据《明实录》中“至(万历)二年四月乃没”的记述知该超新星在万历二年(1574)就已观测不到了,这样在此后绘制星图时似无理由再将这颗客星绘在图上了。星图的底图所对应的





年代应与该超新星可见的时期基本同步，也即可能是在隆庆六年十月初三(1572年11月8日)至万历二年四月这一年半左右的时间内。即使比该时间稍晚也不应相差太多。而这与其他论据似也没有明显的矛盾之处。根据底图再画出该图则可能是比较晚一些时候的事了。然而，由于《崇祯历书》恒星表中也列入了这颗客星，如果星图的绘制是以该星表为依据的，也就有可能也绘上这一颗客星。考虑到这一可能性，将星图的绘制年代定在明代后期到清初还是比较稳妥的。

莆田县文化馆的文章中还谈到，星图的中央小圆处是贴有一罗盘的，罗盘的外圈与图上的标志是一致的。文章指出："这种画法在我国古代星图中还是首次见到。显然，这幅星图与航海有密切的关系。"同时文章也认为："但从许多方面看，这幅星图不是天象的实测记录，而是根据某些已有的星图综合画出的，有些地方画得不准确，有错误，不能作为航海实用。联系在天后宫的发现情况，我们认为这幅星图是只作供奉用的。"看来这些叙述都是符合实际情况的。对于这幅星图被发现的意义，文章指出："由于我国古代天文导航的实物流传很少，这幅星图的发现，还是有力地说明了我国古代民间对航海天文的重视，为进一步研究我国古代的天文导航提供了新的资料和线索。"给予了适当的评价。它还谈到："在我国古星图的发展史上，这幅星图补充了自宋至清的星图中的某些缺环，对有些星官的认证很有帮助。……这幅星图是认证古代星官变迁的宝贵资料。"对其科学意义也做了相应的评述。人们认为，星图上井宿宿度线上有赤纬方向上的坐标刻度标志、星象标志有大小之别，这都是以前中国传统星图中所不具备的，而西方的星图上才具有的这两项特点似能表明，该星图虽然基本上依然属于我国传统星图的范畴，但已受到西方天文学中的某些影响。将它看成是中国古代的星图向西方近现代星图方向发展过程中的一种过渡性产物似乎是没有问题的。





## 二、明《三才图会》星图

明代万历三十五年(1607)，由王圻、王思义父子编集的《三才图会》刊行。书中有天文方面的内容共四卷。在第一卷的开始就有一幅天文总图。它实际上也就是一幅盖图，其情况与以前所谈到的大致相同，只是它也和隆福寺正觉殿藻井星图类似，也未绘出黄道规。星图上除注有星官名称外，还将三垣的名称围以矩形方框、二十八宿的名称以圆圈圈定以示突出，表明该星图的绘制完全以三垣二十八宿恒星分区体系作为依据。星象以圆圈表示，各星官内的成员星也分别以细线连接。大体上来看描绘还算比较精细，各星官的排列形状也比较清楚而与实际接近，但上规、赤道规、下规均未画得很圆，这可能是由于多次转抄翻印过程中造成的失真或绘制工艺欠佳所致。与图的尺寸相比，图上的文字标志显得较大，故使图上过分拥

挤杂乱，个别星官中成员星也未能全部绘出。在总图后则按三垣二十八宿的顺序列出了各星区的星图共31幅。各星图上分别注有东、西、南、北字样并列出了相邻星区的名称，从而便于人们在使用时建立各星区相对位置的概念。各图均有文字说明，除叙述星官的相对位置情况外大都为星占文字，并无有关星图绘制的内容。值得一提的是在"天文三卷"中列有"月令十二月中星之图"共12幅，分别绘出各月标准昏中星时刻的星空图。各星图的右方首先标明该月中的太阳位置和昏、旦中星。图中昏中星就在紫微垣下正南方附近。图上所绘实际上也就是黄昏时该恒星恰在正南方时所看到的恒星总图上的局部星区，只是增绘了银河的轮廓而已。对照有关各星图可知所绘的星官相对位置互相之间并不完全符合，它们看上去更像是一种示意图。尽管如此，这种每月绘制一张相应星图的做法毕竟开了一个先例。清代时这样的星图并不鲜见。近、现代的一些天文普及期刊中也常载有当月的星图，便于天文爱好者随时使用。潘鼐称："《三才图会》可谓每月星图的鼻祖了。"可谓评价得十分恰当。书中还有《尧典》四仲中星之图、中星岁会图、经星昏明迭见之图、玉衡随气指建图、招摇逐月推移图、大东总星图、七月流火图等名称与恒星有关的图，但除大东总星图外，图中文字标志远多于星象标志，有的甚至未绘任何星象，它们与星图实际上尚有距离。而大东总星图虽有5座星官的图像，但似用于对金星被称为启明、长庚的解释，星象的绘制也很不规范。这些图在星图工作中并没有什么意义。总的看来，虽然《三才图会》中的星图在种类上有了一定的扩展，但在星图的绘制形式上并未脱出中国传统星图的窠臼，其恒星总图与宋代的盖图相比并无太多的改进，三垣二十八宿分区星图也与《步天歌》星图相差不多，其他星图中也无突出之处，对这些星图的评价也就不会太高。据潘鼐《中国恒星观测史》介绍，明代还有可能作于永乐四年(1406)或成化二年(1466)的《天文秘旨备考》抄本中的星图，其中一幅为全天盖图，其他为三垣二十八宿分区星图，其星象大致与宋代相同。后又有天启六年(1626)梅静复的《乾象图》，其中也有总图、十二月星图和三垣二十八宿分区星图。与上面谈到的《三才图会》星图相似，它们并无任何突出之处。这样看来，倒是莆田涵江天后宫星图作为传统星图中融进了某些西方星图的特点而颇具特色，并存在一些值得研究的问题，从而相对地显得较为重要。



## 第八节 《崇祯历书》星图

### 一、"崇祯星图"种种

明末崇祯二年(1629)，著名科学家徐光启奉命督修历法。他和其继承人李天




经从崇祯四年到七年曾先后5次向朝廷进呈《崇祯历书》的书稿，其中就有与星图有关的内容。崇祯四年(1631)八月，徐光启第二次进呈的《崇祯历书》书稿目录中就列有《恒星总图》一摺、《恒星图像》一卷。徐光启崇祯六年病危时上疏谈到，有《恒星总图》共八幅，业已誊清。徐光启逝世后李天经又两次进呈书稿，其中有星屏一架，可能就是将《恒星总图》绘成屏风的形式。后来刊行的《崇祯历书》中有《恒星历指》四卷，其第四卷后附有"恒星经纬图说"，其中谈到星图四种：即见界总星图、赤道南北两总星图、黄道南北两总星图和黄道二十分星图。该卷前面是文字说明，星图则放在后面。它与上面提到的《恒星总图》一摺和《恒星图像》一卷的关系如何？因无确实的记述而无法肯定。由于编纂《崇祯历书》的工作是在西方传教士已经东来，西方先进的天文学知识已经开始在我国传播的情况下进行的，这一工作还吸收了西方传教士的参加，故星图上也就反映了这一时代特征。它们大都采用了西方将一圆周分为360°的方法来表示角距离；对可见恒星的亮度也用了西方的星等划分方法来表示，各星等的恒星采用了不同大小的标志；星图上改变了古星图只有宿度标志的缺点，在赤纬方向上也有了坐标标度。这些都应视为星图绘制工作上的进步，这是当时人们主动学习西方的天文学知识，"熔彼方之材质，入大统之型模"[①]所产生的结果，是具有积极意义的。

## 二、见界总星图

见界总星图与我国古代传统的盖图基本上是类同的。它也是以北天极为中心，以正方位投影的方法将全天可见的恒星绘在圆形的平面图上，其边界相当于恒显圈，近南天极而观察不到的恒星均未绘出。但与以前的盖图不同，其恒隐圈的范围要小得多。以前的盖图都是按照作为政治中心的中原地区所能看到的恒星绘制的，对于南方纬度较低的地方一些可以看到的恒星就没有画出来。徐光启在《恒星历指》中就明确指出：

> 见界总星图者，以北极为心，以恒隐圈为界，此巫咸、甘、石以来相传旧法也。然两极出入地平随地各异，而旧图恒见、恒隐各三十六度。三十六者，嵩高之北极出地度耳。自是而南，江淮间可见之星本图无有也，更南闽、粤、黔、滇可见之星本图更无有也，则此为嵩高之见界总图，而非各省之见界总图也。

对以前的盖图不能表现出全国各地所能看到的所有恒星这一缺点给予了准确的阐述。他对此做了改进："今依此做图，宜用滇南北极出地二十度为恒隐圈之半径。




① 徐光启《奉旨恭进历书疏》中语。

以其圈为隐见之界，则各省直所得见之星无不备载，可名为总星图矣。”由于我国的版图都在地球的北半球，南方所能看到的恒星比北方要多，以接近版图最南端的滇南来作为星图所对应的观测地点无疑是有效克服上述缺陷的方法。为减小将球面上的图形投影在平面上的失真，在这一星图上徐光启还做了另一改进。也是在《恒星历指》中他又指出：

> 又赤道为天之大圈，其左右距等侣圈以渐加小，至两极各一点耳，于平面作图而平分纬度，自极至于赤道，纬度恒平分，而经度渐广，广袤不合即与天象不合。向所谓得之经纬，失之形势，得之形势，失之经纬者也。况过赤道以南，其距等纬圈宜小而愈大，其经度宜翕而愈张，若复平分纬度即不称愈甚，其失亦愈甚矣。

认为将星空投影在平面上，由于赤经方向上的1度所对应弧长会随着远离北天极而增加，而赤纬方向上1度对应的长度如果一直不变就会造成星官图形的失真。他“又依前法为不等纬距度向外渐宽，则经纬度广袤相称，而星形度数两不相失。”看来他的这一措施还是取得相当满意的效果的，对于天赤道以南的恒星上述失真的情况尤为严重，采取这样的补救措施在一定的程度上可使失真得到缓和。不过徐光启对失真造成的原因并未叙述得十分准确。因为在赤道天文坐标系中表现天体的位置时也存在一个距南、北天极愈远赤经的1度所对应的弧长也愈长的情况，而在该坐标系中赤纬的分度仍采用等间距的方式，但并未给星座的形状带来失真。看来见界总星图上出现的失真主要还是由于投影的问题，要在平面上反映球面上的图形，这是不可避免的一种现象。徐光启采取这一技术措施是不可能完全解决问题的，而且将全图作为一个整体来观察，近北、南天极和远北、南天极的各星座之间也就呈现了在面积上的不一致，从而会出现新的失真。尽管如此，徐光启的这一技术尝试在解决星官形状失真的缺陷方面还是相对有效的，也是具有重要的意义的，故仍应予以肯定。



可能是由于见界总星图基本上是继承了中国古代传统的盖图的画法，对天赤道以南的恒星在表现效果上又欠佳的缘故，而下面将要谈到的赤道南北两总星图又基本上能在功能上完全替代该星图，在清代顺治二年(1645)汤若望将《崇祯历书》改编为《西洋新法历书》时就删去了这一星图，使现代的人们难以对这一星图的具体情况有充分的了解。但在《恒星历指》所附“恒星经纬图说”中有一篇对该星图的文字说明，从中可对其大概情况有所了解。据记述：

> 本图外界分三百六十五度四分度之一者，赤道经度也。正南北直线名子午线，线上分极，以南极以北各一百六十度者，赤道纬度也。从心至界分二十八直线者，依二十八宿各距星分二十八宿各所占度分也。



可见其基本情况确与传统盖图没有太大的分别，连其角度单位也是采用了传统的将一圆周划分为 365 $\frac{1}{4}$度的做法。但其南北直线上标有 160 度的分划用来标示恒星的赤纬值则是传统盖图中所不具备的。对于二十八宿宿度数据的历代不同，说明中也进行了讨论，指出：

> 今以西历详考黄赤经纬变易。盖二十八宿分经者从赤道极出线，至赤道乃止，而诸星自依黄道行，是以岁月不同，积久斯见，若精言之，则日日刻刻皆有参差。特此差经二万五千四百余年而行天一周，正所谓微有动移，非久不觉。……而前代各测不同者，皆天行自然，非术有未密也。

以岁差现象解释了二十八宿宿度数据随时代之不同而变化，并举例谈到北极星官天枢星从离北天极 2 度变为在北天极附近，再变到当时的相距 3 度多；觜宿的宿度值从汉代的两度变为唐宋时期的 1 度、半度再变到当时的“侵入参宿二十四分”，这些都与实际情况是基本相符的。说明中还指出：“今之各宿距星所当宫度所得多寡悉与前史、前图不合，盖缘于此。此图皆崇祯元年戊辰实躔赤道度分。”表明该图的宿度数据是与当时实测所得符合的。说明中还谈到利用该图来了解恒星的赤经、赤纬和所对应的宫次度分的方法。该图上还是有黄道标志的：“若黄道在本图中只画一规及经度，其查考经纬度分别具黄道分合各图中。”意味着图中的黄道规可能只具象征意义。由于盖图中无法逼真地表现黄道坐标的情况，要从图上得到恒星的黄道坐标看来只有借助于下面将要谈到的黄道南北两总星图和黄道二十分星图了。按照说明中“绘图、立表、测天三事悉皆符合”的记述可知，图中恒星的位置与恒星位置表及实测数据都是一致的。由于这三项工作均是编制《崇祯历书》过程中的一个组成部分的三个环节，就有可能将它们统一起来，从而比过去有些星图只是依靠前人的观测成果的做法要优越一些。




虽然《崇祯历书》中的见界总星图已难以寻觅，但现代在罗马梵蒂冈图书馆内却保存有两幅较大尺寸的同类星图。一幅尺寸为 125 厘米×67 厘米，据考是明代刻印的徐光启的星图原本，上有标题“见界总星图”，图下署名“楚寿昌后学邬明著图”。另一幅尺寸为 129 厘米×65 厘米，系清代所印，制图者邬明著的署名被删去，添了汤若望的三枚印记。前者的星象图形比后者清晰，两图均有文字说明附于图下。星图绘制十分正规，星象以大小不同的 6 种标志绘制以表示不同的亮度，再加上增星和气两种标志，在星图下部偏左处有相应的图例表示。下规外各宿度线的端点处注有宿度的度分值。其外又有两个以北天极为圆心的圆周组成的环，用黑白相间的方法表示圆周上各度的范围，其外则每 10 度以数字标出度数。再外一圈则依次列出了相应的十二宫次、十二辰的名称。在一条半径上绘有刻度标志，它显然是用来衡量恒星赤纬大小的标尺。总的来看，它与近代天文专业星图已经没

有太大的差别，显示了其高超的制作水平。另据潘鼐《17 世纪初世界首屈一指的恒星图》一文介绍，法国国家图书馆也藏有一幅“见界总星图”，并附矩形裁幅一方。但具体情况未见介绍。

## 三、赤道南北两总星图

赤道南北两总星图则与《新仪象法要》星图中的第 4、5 幅即浑象北极图、浑象南极图是相当的。只是后者在近南极处无法观测到的恒星均未绘出而呈空白状态，前者则根据当时掌握的数据将它们补绘完整而已。据《恒星历指》中记述：

> 古法绘星图以恒见圈为紫微垣，以恒隐圈界为总图之界，过此南偏之星不复有图矣。西历因恒见圈南北随地不同又渐次不同，故以两极为心，以赤道为界，平分为南北二图，以全括浑天可见之星，此两法所由异也。

将这类星图的画法完全归功于“西历”，看来是不无偏颇的。《恒星经纬图说》中对该图的一项改进有如下的叙述：

> 赤道南北两总星图，一以北极为心，一以南极为心，皆以赤道为界。从心出直线抵界凡十二者，为十二时线。又细分为三百六十，则赤道经度也。与总图所分经度不同者，彼分三百六十五度四分度之一，准一岁日行周天之数，名为日度；此平分三百六十，名为平度也。凡造器测天、推步演算，先用平度，特为径捷。测算既就，以日度通之，所省功力数倍，故两用之也。

可见这一大改进是采用了西方天文学中将一圆周划分为 360°的方法，这样不但在观测和推算上都很方便，而且在绘制星图时标示恒星的坐标也十分简捷。中国古代的角度单位是以太阳每天在恒星间运行 1 度，1 年运行 $365\frac{1}{4}$度作为依据的。但人们早就知道太阳的周年视运动每天并非运行恰好 1 度，1 年的长度也不正好是 $365\frac{1}{4}$天，仍然使用这一角度单位实际上并无太大的意义，但它给天文工作中的仪器制作、观测、推算等方面却带来相当多的不便，这时改用西方的 360°制应该说是对传统的做法的具有重大意义的决裂，尽管这一决裂并不是十分彻底的。为了与以前的数据联系起来，当时还是采取了“两用之”的办法，通过“以日度通之”的运算来得到相应的中国古代度数值。值得注意的是在该星图中从圆心到边界有十二根半径被称为时线，对其间隔再行细分才有 360°，这似乎表明当时也有用时辰来表示角度的做法。这与现代天文学中恒星赤经常用小时、分、秒的时间单位来表示的情况有一些类似。不过两者单位的大小略有不同，一个时辰恰好是两个小时。在两图上正南北的直线是子午线，上有分划，在北天极南北各分为 90 分，它们相当于赤



纬的90°标尺。离北天极23°.5多一点的地方绘有黄极，从黄极到天赤道绘有12条曲线，它们显然与黄道十二宫的划分是有关的。图上均绘有黄道，在黄道上各有小的分划，是用来表示黄经度数的。《恒星经纬图说》中指出："从黄极出曲线抵界亦十二者，黄道经度也。分十二宫、三百六十度。其黄赤同度同分者独二分、二至四线，其余各有参差。欲考黄赤异同，于此得其大意矣。"看来，从图上能知道恒星的赤道坐标与大致的黄道坐标是这种类型的星图的特点之一。该文中还谈到：

> 南总图自见界诸星而外，尚有南极旁隐界诸星。旧图未载此，虽各省直未见，从海道至满剌加国悉见之，……如海南诸国，近在襟带间，所见星辰历历指掌，而图籍之中可缺诸乎？惟是向来无象无名，故以原名翻译附焉。

对赤道南总星图中收录有近南天极恒星的情况给予了肯定。从我国古代对这些恒星缺乏观测和了解的情况，图中星官名称也是由西名翻译而来，可以推想绘图的有关依据也应源于西方天文学中的文献资料。与见界总星图中采取的方法类似，其用来表示恒星赤纬大小的标尺也是近南、北天极处较密，远南、北天极处较疏。这从《恒星历指》中谈及赤纬标尺的绘法时有"直径上下所得度与界限度各相应而疏密不等，经纬相称矣"的叙述可以证实。《恒星经纬图说》中也讲到该类星图的缺陷："若赤道左右星座为赤道所截，分载两图，求其全像，亦在见界总图矣。"指出各成员星分跨天赤道南北的星官在图上分别画在南、北两图上，要得到完整的概念比较困难，从而需求助于见界总星图。

徐光启在逝世前曾主持和从事了大型《恒星总图》的工作，该星图也被称为《赤道南北两总星图》，这是因其体例与上面谈到的基本相同，故名称也就一致了。它是徐光启逝世前数月开始绘制的，由于图上徐光启的署名中已有文渊阁大学士的头衔，而这是他于崇祯六年八月底被授该官衔的，故该图的完成当在这一年的九月。同年九月二十九日徐光启所上疏中有"……恒星总图八幅。……略皆经臣目手，业已誊缮"之语，也表明该星图业已就绪。在徐光启逝世后，李天经于崇祯七年七月第四次进呈《崇祯历书》书稿时将该图制成八条屏风式样，称为"恒星屏幛一架"，一起进呈。该星图目前尚有多处收藏。中国第一历史档案馆藏有原藏于故宫的清代印本，其图着蓝色。梵蒂冈图书馆藏有一幅明代刊印的彩色版本；另还藏有一幅清代不着色的印本被拼装在一起，但已略有破损。法国国家图书馆内也有一份未着色的清代印本。这些星图的存世使人们对其情况能有较清楚的了解。




梵蒂冈图书馆的明代彩色恒星屏幛有8幅，长168.5厘米，宽64厘米。第一幅上的主要内容是徐光启所写的"赤道南北两总星图叙"，并附有5帧关于天文仪器和行星经纬度的图画。图叙共有10行，约820字，主要叙述了该星图绘制的起

因，图的结构和用途。第 8 幅上则是“赤道南北两总星图说”，由署名可知图说系由西方耶稣会传教士汤若望撰，罗雅谷订，并列出了绘图者邬明著和一些观测者的姓名。图说共 9 行，1 125 字，叙述了该图与见界总星图之区别、此图的绘制方法、恒星按亮度分为六等、图中星数、量度恒星赤经、赤纬的方法等内容。其旁也附有与第 1 幅中类似的图。第 2 幅至第 7 幅则是星图本身。将它们拼在一起就是完整的分别绘有在天赤道以北和以南的恒星的两帧星图。星图以淡彩着色，底色为淡青，用棕色绘出星象。据第 8 幅中图说记述，图中所绘恒星 1 等至 6 等星的星数分别为：16、67、216、522、419、572，合计 1 812 颗。这比崇祯四年所呈恒星表与星图中的 1 362 颗多了 450 颗。潘鼐在《中国恒星观测史》一书中指出：“短短两年内做了如许新的观测，图上星数超过欧西同时期星表，实居是时世界星图的首位，徐光启的成就是极出色的。”认为这是该星图最为突出的成就，给予了很高的评价。星象位置均以崇祯元年（1628）为历元，绝大部分是通过实测得到位置数据后通过归算再绘在图上的。星图的外圈的角度标志分为两层，外层分为 360°，内层则与传统的 $365\frac{1}{4}$度相对应，两种分度方法可作互相对照。其他关于黄道、黄道十二宫、二十八宿宿度线、宿度数据的标注等均与上面所述崇祯四年所绘赤道南北两总星图中的情况基本类似，也就不用赘述了。在两帧星图之间的上方绘有一幅见界总星图，其外径只有 43 厘米，两旁列有汤若望所撰写的《赤道图说》一文。两帧星图之间的下方则是另一幅仿见界总星图，但它是以黄极为圆心的，以恒星的黄道坐标数据绘出。其尺寸与上图相同，两旁则是由邬明著所撰的《黄道图说》。两帧星图的四角均有行星的经纬度图。其外径尺寸约为 29 厘米。它们与第 1 幅、第 8 幅屏条中的 6 幅行星经纬图一起，可能均是与第四次进呈《崇祯历书》书稿中的《五星图》一致的。由于这两帧星图绘制的尺寸较大，星象的绘制也就可以相对准确，从而在一定的程度上克服了以前的星图因尺寸偏窄在使用过程中易产生与实际天象的偏差的缺陷，在使用上也能够较为方便准确，它又增加了 450 颗以前从未得到过位置数据的恒星，从而使星图中的星数跃居当时世界星图、星表工作的前列，跨上了一个新台阶，其在世界天文学发展历史上所具有的地位也是十分重要的。



## 四、两种黄道星图

黄道南北两总星图的情况与赤道南北两总星图是基本上类似的。只是其圆心分别是北黄极和南黄极，星图的外界是黄道而已。图上有 6 条直径，将其分为 12 等份，这分别就是黄道十二宫的范围。星图范围外一圈以黑白相间的方式给出了一周 360°各度的范围，其外再在黄道十二宫的 30°范围内每 10°给以文字标注。最外一圈则是十二宫次、十二辰的名称标注。星象均按恒星的黄经、黄纬数据绘出，



黄纬数据的标尺位于作为实沈申宫和鹑首未宫分界的半径上，该半径被平分为 90 等份，就相当于黄纬从 0°到 90°的分划。该星图的体制、布局、使用方法、缺陷等均与赤道南北两总星图类似，就不必赘述了。与该星图的情况大致相同，在梵蒂冈图书馆中保存有一幅也称为“黄道南北两总星图”的明代印本星图，其尺寸较大，长 130 厘米，宽 33 厘米，图题下有汤若望所撰《黄道南北两总星图说》，并有“山阴陈应登校”字样。潘鼐先生估计它可能是徐光启主持绘制星图的初印本。

黄道二十分星图是一种分区星图，就这一点而言，它与《步天歌》中的星图是类似的。但它与后者却存在着很大的差别。后者所采用的三垣二十八宿体系基本上是属于赤道天文坐标系的范畴，而前者却完全是从属于黄道天文坐标系的。后者以星官为主进行划分，则各星区所占区域相差悬殊，但可保证任一星官的所有成员星均在同一星区之内；前者则严格按照恒星的黄经、黄纬数据进行划分，位于其分界线上的星官其成员星可能分属于不同的星区。后者依三垣二十八宿分区绘制，有图 31 帧，图上没有任何坐标标度；前者则除南、北黄极附近各 22°.5 范围内的恒星各绘一图外，按黄纬每 45°、黄经方向每两宫（即 60°）范围进行分区，绘 18 图，故共 20 图，图上均标有分度标志，可以通过量度来了解各星的黄经、黄纬数值。《恒星经纬图说》中谈到这份星图时说：“分星图独依黄道者，恒星与七政皆循黄道行，依此为分，其正术也。必用分图者，总图尺幅既狭，如星座、如宫次、如度分、如等第，未能明晰，用以证合天象，颇觉为难，分之则一览了然。”对其所采用体制的优越之处给予了肯定。除以南、北黄极为中心的两图为圆形外，其他十八图分别各有六图呈上狭下广、上下稍狭中间最广、上广下狭的形状，这是由于黄道经度的一度在逐渐远离南、北黄极时其所对应的弧长也逐渐增大，在黄道上达到最大的缘故。它们被分别称为黄道北界六分图、黄道中界六分图、黄道南界六分图。《恒星经纬图说》还谈到：




> 诸图中星名位次皆巫咸、甘、石旧传。各依旧传联合大小，分为六等，各以本等印记分别识之。中虚者，旧疑非星，因称为气，今用远镜窥测，则皆星也。因恒时不见分异，姑为散圈以象之。其有位座如恒，而星实未见，用青圈为识，与苍同色明其无有之间也。

可见星图中不但按恒星亮度分别以六种标志来表示不同星等的恒星，还用散圈来表示星团，用青圈来表示有位置而未见星者。对于一个星官中的各成员星：

> 凡若干星合为一座，各以数识之。本座之外复有余数，又不相联，则其附近之有测新星，表中各注经纬度分星名之下，称为增入者也。其不书数目者，无测之星，表中所未载也。

表明用在星图上分别注以数字的方法来区分一个星官中各成员星。其中还有一些

是新增加的星，一些不注数字的，则在《崇祯历书》的恒星表中也未列出过。这表明该套星图中的星数是多于恒星表的。在星图上星官各成员星注数字以区分的方法是其他星图中没有采用过的，这大概是采用分区星图的画法，各星之间有足够的空间注上数字，从而能“一览了然”。这和西方星图中注以希腊字母和数字来区分各星的方法如出一辙，可能是向后者学习的结果。有关的星图中还绘有天赤道、冬夏至线、银河等标记。当然，星图上所表现的星官图形也可能会有失真的情况，《恒星经纬图说》中对此也有正确的认识：

若星座同名而参观两在，觉其体势不同者，因天本浑圜，所分宿度当为弧线，今居平面，不免变易。是黄赤同图，则线分曲直，两次并列，则线分斜正。而安星本法皆依各线布置，遇曲直与为曲直，遇斜正与为斜正，宁使形模小异，尚可证以根由。倘令经纬微迁，惧无辞于爽谬矣。且一星一表，毫发难移，点缀既毕，自然肖像，非若画绘之家先想成形而追形定位，虽欲更移秒末以就成体，势固不可得也。

指出这种失真是由将球面坐标投影在平面上不可避免出现的现象。但这一失真终究不是太大，如果过分追求星象排列形状的逼真，不但使星象位置的坐标不准确，其效果也难以圆满。由于各星图上均附有坐标标尺，要了解一颗恒星的黄经、黄纬值只要在相应的星图上量度：“量度则两圆图与总图同法，十八方图则上下求经，左右求纬，各以直线求其相等度分，星居两线之交，则各两相等度分为星之经纬度分。”这与使用现代星图求恒星坐标的方法基本上没有什么不同。

在徐光启所撰《恒星历指》中还讲到一种星图：极至交圈平分左右二总星图。这是与以前所谈到的类型完全不同的星图。徐光启将星图的投影方法分为有法物像与无法物像两类，而前者又有三种情况。其第三种情况就是将投影面放在与两分点相切处，这样通过南、北天极和两至点的大圆投影在平面上就是一个大圆，即星图的边界，两分点的投影就是星图的中心。天赤道与过南、北天极与二分点的大圆在平面上的投影均为直线，其他赤经圈和赤纬圈则为弧线，从而以这些线来确定恒星的经纬度。分别以春分点、秋分点为星图的中心，则可绘出两帧圆形星图，各包含半天恒星的图像。这就与近代世界地图中将地球东西半球的情况分别绘出的地图十分类似了。如果将星图中坐标标度均视为与黄经、黄纬相应，则所绘星象图边界相应于通过南、北黄极和两至点的大圆。其情况与上述也大致类似。按以上这种方式绘制的星图与天球概念比较符合，在使用时其方向感也可与实际情况对应，不必像见界总星图、赤道（或黄道）南北两总星图那样要首先需通过抽象思维使其与天球概念建立联系才能正确地使用，这是其优点。不过这种类型的星图却似乎并未留存下来，这可能是因为星图上的赤经圈、赤纬圈随着其位置的不同在图上



投影的形状也各异，这样各星宫中的成员星排列的形状也随其在图上的位置不同有不同的变形，从而使某些星官形状产生较大的失真。而这正是星图所应该避免的缺点，因为星图与地图不同，星空是人们经常可以观测到的，人们只要将其与实际星空对比就能发现其失真情况，从而也就对其持否定态度了。

由以上的叙述我们可以看到，明代末期西方先进天文学知识流传到中国后，由于徐光启等天文学家的努力使星图的绘制工作得到较为全面的发展，其品种和数量之多、规模之大、绘制之规范、表现内容之丰富、考虑之周到科学均达到了空前的地步，某些星图中所包含的恒星数目在当时世界上也是最多的，可以说这些星图代表了当时这一领域中的世界最高水平。潘鼐称赞其中的恒星屏幛本"是当时世界上首屈一指的恒星观测成果"、"达到了时代的顶点"，看来确非言过其实。星图既继承了中国古代星图的某些特点，又吸收了西方天文学中先进知识的营养，并包含了我国当时天文工作者的某些创造性工作成果，其科学性、严密性已十分接近近现代的星图，具有相当重要的科学价值，是中国古代天文学的珍贵遗产，其重要意义是不能低估的。

## 五、清代星图一瞥

清代时也曾出现过许多星图。康熙十一年(1672)，在钦天监任职的比利时传教士南怀仁绘制过一份赤道南北星图，他后来编撰的《灵台仪象志》中也绘有星图，但这些星图均无留存。在以后的《仪象考成》中倒有两份星图：恒星全图、赤道南北恒星图。前者系依照上面谈到过的见界总星图的模式绘制，后者则与赤道南北两总星图相当。按照前者的体例，当时还曾绘制过大尺寸星图进呈，但现已不知去向。主持编撰该书的德国传教士戴进贤还曾主持绘制过一种黄道总星图，它与上述黄道南北两总星图也基本类似，现法国国家图书馆内藏有该图。另外他也曾指导有关人员绘制过赤道南北恒星图。《仪象考成续编》中共有两种总图即赤道南北星图、恒星全图，它们与上面谈到的星图也大致相类似。另外也曾绘制过大幅赤道南北星图进呈朝廷，现存于中国第一历史档案馆。潘鼐曾谈到该档案馆中藏有多幅大尺寸的手绘星图，可能都是清代前期的作品。但未注绘制日期，却都相当精致。清代早期官方绘制的这些星图虽然均系根据当时观测所掌握的恒星位置情况精心绘制的，但其体制、表现内容、布局等方面均未与徐光启当年主持绘制的星图有太多的不同，有的甚至比后者还要粗陋一些，由此也可看到后者的影响是相当深远的。《仪象考成续编》中还有一组分区星图，它与《崇祯历书》中相应星图不同，是完全按照三垣二十八宿恒星分区体系绘制的，共 31 幅，图中星数相对较少，只绘有传统的星官而没有增星，图中有的绘有赤道，赤道上粗略地标有十二宫的边界标




志，它显然与传统的分区星图更为接近，比《崇祯历书》中的黄道二十分星图要简陋粗糙得多。它是与《步天歌》配合使用的。该书的卷三就名为“星图步天歌”，附有新编的《步天歌》一篇。清代后期，在光绪年间所刊行的《大清会典图》中也有一套恒星分区图，其相应于十二宫的星图绘成两头狭中间宽的瓜瓣形，它的表现形式虽与《仪象考成续编》中的分区星图不同，绘制也相对精细一些，但在表现内容、坐标系统上两者大致相仿。以上这些官方主持绘制的星图虽然不乏精品，但并无出《崇祯历书》星图之右者。其精品也只是仿照后者的格局用重新观测到的恒星位置数据绘制的，在绘制方法上并无明显的进步。相对来说，倒是民间的某些星图颇具特色。

康熙二十七年(1688)，清代著名天文学家、数学家梅文鼎的弟弟梅文鼐就曾绘制了“恒星黄道图”和“恒星赤道图”。现存其所著《星图》一册。这是他对南怀仁《灵台仪象志》中的恒星图表进行考订校算后依其数据按比例绘制成图的。所收星图有61幅，分属于三垣、二十八宿和南极诸星。除紫微垣、南极诸星外，各星图均绘成柳叶形。道光年间有天文学家张作楠与江临泰合作绘制了一些星图，载于张作楠所撰《新测恒星图表》中。该书中谈到这些星图时说：

> 云樵江君依乾隆甲子新测，按岁差加减，推衍至道光癸未，得其真度，制径尺星球见赠。楠因其宫次度分，分三垣、二十八舍及天汉经纬，列以为表，自癸未后欲得各年恒星经纬度则依表加减之。并属云樵分黄、赤道南北绘总星图各二，又依赤道十二宫南北各为小图，并紫微垣一图、近南极星一图，分之得图二十有六，合之则成一球，冠诸卷端，与表相辅，俾推中星、求里差、步躔离、验凌犯，及绘图制器者有所资焉。





其黄、赤道南北的总星图与《崇祯历书》中相应星图基本类同，但分区星图则在形式上有所变化，其大体情况也还是类似的。绘制这些星图所用的数据是根据乾隆九年(1744)的恒星位置数据(可能就是直接取之于《仪象考成》中)作岁差改正后归算到对应于道光三年(1823)的。作为民间天文学家要对恒星位置进行精密的测定当然是相当困难的，也只能采取“拿来主义”的方法了。用类似的方法，清代著名学者李锐的学生李兆洛、六承如、宋景昌、六严、徐思楷、钱维樾等人曾绘制过一套对应于道光十四年(1834)的“恒星赤道经纬度图”，它包括总图、赤道南北星图和以十二宫划分的赤道南北分区星图共29幅。图上的经纬度的标尺均依度各绘出线条，使其在图上呈坐标网格状，从而便于从图上直接读出恒星的大致位置数据而不需量度，绘制时也能较为准确。与星图上不列出或只有一条坐标标尺相比，这显然具有方便、明晰、形象的特点，应该视为是一种进步。后来六严又根据《仪象考成续编》中的数据重新归算，并绘制了又一种“赤道恒星经纬图”，共计47幅。据统计，图中



从一等星到六等星分别有17,62,202,489,814,1 646颗,另有星气等9处,合计绘有星象3 239颗。星图于咸丰元年(1851)刊行于世。它显然是我国古代星数最多、最详尽完整的星图之一。还值得一提的是清代的女天文学家江蕙,她在咸丰五年(1855),曾绘制过一套中星图,名为《心香阁考订中星图》,又名《二十四气中星图考》。图中分别绘出了二十四节气中可见的中星图像。图呈扇面状,扇面圆心在北天极处,但近北天极的紫微垣星区另行绘出,故共有图25幅。各中星图扇面达半个圆面,约与半个星空相当,星象工笔点绘,星官内各成员星有细线连接,图形清晰纤细,秀美雅致,部分星官注有名称,便于人们认星。星象排列形状逼真,位置大体准确,可算是民间星图中的精致之作。我们在第四章中谈到,据潘鼐介绍,清代民间星图数量很多,1959年初他曾在苏州某一旧书店中见到五六十种恒星图籍抄本,"悉为清代写本,工笔精绘,彩色纷陈,种种记述,亦颇周详,并有自题'海内孤本'的字样。凡见界总图、黄道南北图、赤道南北图、天球俯视图、十二月分图、皋鼓图、三垣二十八宿分图,等等,琳琅满目。不一年,大部分均被搜购而去……"[①]由于这些清代民间星图无法收集齐全,也就难以对它们进行综合研究,目前对它们的了解也只能是挂一漏万。是否能对其有一个全面的分析,发掘其中的精品,看来还要视当前文献资料的保存情况和研究力量投入多少而定了。不过从潘鼐对其所见清代民间星图的印象来看,其体制也大都未脱《崇祯历书》星图的窠臼。由此倒也可以看出后者影响之长远。

## 第九节　墓葬星图




### 一、最早的墓葬星图

除上面谈到的专业性星图外,更多的还是象征性星图,而墓葬星图又占了后者的绝大部分。它们虽然只是墓葬中关于天空的一种象征,有的甚至只具有装饰性意义,其科学意义并不很大,但却可如实表现出不同时代的人们对星空的认识情况,具有一定的参考价值。墓葬星图源远流长。从《史记》所述秦始皇陵"上具天文"始,历两汉、南北朝、隋唐而盛行,在宋辽时期墓葬中仍时有发现,目前已知墓葬星图已有相当数量,这里也只能择其要者予以介绍。

如果把人们对想象中的星空形象的描绘也看作为星图的话,最早的墓葬星图当数在第二章中已经谈到过的河南省濮阳县西水坡文化遗址中一座距今6 000多

① 潘鼐:《中国恒星观测史》。

年古墓中的用蚌壳摆放的龙虎两象及北斗的图形。但这与人们心目中的星图终究还是有一段距离。现知墓葬中既绘有太阳、月亮又画有繁星点点的天象图最早见于湖南省长沙马王堆三号墓内棺上覆盖的 T 字形帛画上。马王堆是在汉惠帝二年(前 193)被封为轪侯的利苍及其家属的墓地。三号墓主人是利苍的儿子,葬于汉文帝初元十二年(前 168)。帛画通长 2.33 米,上部宽 1.41 米,下部宽 0.5 米。其上部则绘有天象图景:右边绘有扶桑树,上有一红色的太阳,太阳中绘有金乌;左边则绘弯月,其上方则画有月亮的象征物蟾蜍和玉兔;在太阳和月亮之间杂乱的花纹之中用红色点出了满天星斗,在玉兔的周围也有同样的星点。由于画中太阳、月亮、星象均只具有象征的意义,其星象与实际星官间的对应关系尚难以确定。其科学意义也就看上去不是很大。不过结合帛画下部所绘地下部分有一力士站在两条鱼形动物之上托举着大地的情况看来,帛画所反映的确是古代人们头脑中的一种宇宙模式,形象地反映了相当多的一部分人的认识水平。

## 二、墓葬壁画星图

墓葬星图以壁画的形式留存下来最早也是在汉代。1957 年在河南省洛阳市发掘的西汉壁画墓中就有这样的天象图。图中除太阳、月亮图案外还绘有北斗等拱极星和二十八宿中的某些星宿。陕西省千阳县在 1972 年 9 月间发现了一座古墓。根据墓中出土的铜镜和钱币判断,该墓所对应的时代是西汉末的王莽时期。墓室的东西壁上均绘有壁画,但大部分脱落,从残留部分可知其所绘为天文图。其东壁壁画之前端是一太阳像,太阳中绘有飞翔之金乌。太阳周围云气缭绕,云气中绘有 4 颗星。壁画中部大部分残损,只有后部残留一部分,有人认为所绘似为苍龙图像,但看上去更像是朱雀的形状,在图像上方绘有三行星象,第一行 5 颗,第二行 7 颗,第三行 3 颗,共 15 颗。星象平行排列,均呈圆形,为中间涂色之圆圈。西壁壁画的前端绘有月亮,月轮中原绘有图画,但已模糊不清。月轮周围也云气弥漫,其间有星象 11 颗显现,月轮下残留的两星之间还有直线连接,这与以后的星图中表示一个星官中各成员星也用直线相连的做法有一定的相似之处。西壁壁画的中部也大部脱落,只有后部残存白虎图像之后半部,所绘虎尾前弯,虎腿平伸,虎身上方残留两行星象,各有 5 颗和 6 颗。虎身虎尾上也有圆圈,但与所绘星象有区别,看来并非表现星象的。否则它就与西方早期将图形与星象结合在一起的星图有点相像了。从图中星象的排列大都较为整齐的情况看来,它们可能只是具有象征意义的,并不反映实际天象的情况。



最早描绘星官的实际形状的墓葬星图也可见于汉代的一些画像石。画像石是古代祠堂或墓室中的石刻装饰画,最早出现于西汉,东汉时比较流行。其内容丰富



多彩，其中就有描绘星官形状的。最为著名的是山东济宁市嘉祥县东汉武梁祠中的一块有北斗七星形象的石刻。画面依《史记·天官书》中“斗为帝车”之叙述绘刻。七星排列成斗的形状，斗杓下有祥云，一天帝模样的天神坐在斗杓中。其旁有四位顶礼膜拜的臣仆形象。并绘有骑马的护卫、马车、飞鸟等装饰。七星用线条连接起来，表明其组成一个星官。其上有龙和鸟的形象，可能是青龙、朱雀的象征，表示北斗与东方青龙、南方朱雀相邻。图中还绘一长翼小神，手持一小星，其位置在斗柄的第二星开阳附近，这实际上就是后来人们知道的开阳的伴星，中国古代称其为辅星，在《史记·天官书》中就有“辅星明近”之记述。从星象有大小的情况可见当时人们已经采用不同的符号来区分亮度不同的恒星了。由于亮星看上去比暗星要大，人们用大小不同的符号来分别表示它们就是十分自然的了。看来古今中外都是经常采用这一种表示方法的。在河南省南阳出土的一些汉画像石上也有一些表现星象的。有一块上刻有金乌，其躯体为圆形，是用来表示太阳的。有人认为这是古代的人们在日全食时观测到日珥，并将其想象为一飞鸟形状。对于太阳黑子也有人将其想象为太阳中的三足乌，故有此形象，看来不无道理。在金乌的下方就刻有大小不一的七颗圆形星象，金乌的头部上方也有一星象，但这些星象与实际星官的对应关系尚难确定。另有一块刻有白虎形象，其前水平刻有三星，用细线相连，该三星下方又竖刻有用细线连着的三星，这与参宿中六颗星的排列倒是颇为相像的。与《史记·天官书》中记述：“参为白虎，三星直者是为衡石，下有三星，兑，曰罚，……”倒是甚为相符的。白虎下还有三颗离散的星象则很难找到对应的恒星。一块刻有青龙的画像石上的某些星象与亢宿的排列情况相似，青龙尾部的星官与尾宿也有一定程度的相像。刻有较多星官图形的当数一块牛郎织女画像石，其右边为牛郎牵牛形象，牛上方有河鼓三星即牵牛星的图形，图左下方有四星围成四边形，中间踞坐一高髻女子，当为织女星官，它与后来的织女星是有区别的。图中另外还有一些尚未确定的星官图像。另外绘有月亮(蟾蜍)、日月合璧(类似于日全食)的画像石上均绘有相应的星官图像。虽然以上这些星官图像并未能全部与实际天象很好对应，但由于在大部分图上星象之间有的用细线连接，这与专业星图中将同一星官中的成员星之间用线连接的做法是有渊源关系的，它反映了当时某些星图中的传统做法。由于当时的专业星图未能流传下来，它所具有的意义就是不能等闲视之的了，显然这些星图还是具有一定的研究意义的。




### 三、北魏元乂星象图

1974 年 2 月，在洛阳市北朝阳公社向阳大队(前海资村)发现了北魏时皇族元乂的墓葬，由于该墓曾多次被盗，随葬物丧失殆尽。墓室呈正方形，南北长 7.5 米，

东西宽7米,高约9.5米。四壁与穹窿顶均以白灰涂底,绘有彩色的图画。但四壁的壁画均遭破坏,只留下四象的零星残图依稀可辨,可知壁画的内容也是与天文学有一定的联系的。由于穹窿顶较高,绘于其上的天象图得以保存大体完整。它未绘边界线,两侧与其他彩绘有交错,总体呈不规则的圆形。图用棕色绘成,银河贯其正中,南北走向,银河中以蓝色勾绘波纹。星象以圆圈表示,部分圆圈之间各有细线连接,似表示它们分别同属一座星官。星象共有300余颗。由于在墓室积土中发现了石墓志盖的一角,与此前发现的北魏元乂墓志盖上所缺左下角基本吻合,断定该墓即元乂之墓无疑。元乂死于北魏孝昌二年(526),这样,如果不算只有个别星官的星图,我国现存古代星图年代最早的当是该图。其尺寸之大、星数之多也是很突出的。王车、陈徐在《洛阳北魏元乂墓的星象图》[①]一文中分析,该星图所反映的是当时的实际星空。文章根据北斗星的斗柄直指北方判断星图描绘的星象大体对应于正月晚上或七月的凌晨前所看到的星空情况。这与元乂死于三月、葬于七月倒还符合,不过文章指出:“由于星象图描绘的准确度较差,要精确地说出季节月份是比较困难的。”文章列出了正月晚上或七月凌晨前在当时当地所能看到的星官名称,而在星图中也确实找到了其中一些相应的星象,有些在星数、位置上大致还比较符合。但也有一些重要的星官在星图上难以找到对应星象,而且星图中的银河的走向不够准确,某些星象的相对位置与实际情况存在差异,有的星官的形状和星数等也与以后的星图有较大的不同。尽管指出了星图描绘得不够准确,但总的看来文章对该图还是持肯定态度的。潘鼐《中国恒星观测史》一书谈到该星图时却指出:该图“除中部偏右星辰较密集外,其余星辰均匀地散布在全天空。右上方的北斗七星用线相连,甚为醒目。但是,除个别星座绘有四五颗到八九颗外,凡有连线的大都为2颗或3颗。或呈V字形,或呈扁担形,当是任意绘联,而不是持星图临描的。北斗七星,几乎人所共知,所以画得很鲜明;其余各星,用古星图对照,就很难按图索骥了。”虽然也肯定它是“迄今发现的大型墓葬星图中最早的一幅”,但对其所描绘的星象大体上还是否定的。由于该星图只属具象征意义的墓葬星图,当然不可能像专业星图那么规范,从星图上星象分布的情况来看,绘制时确是具相当的随意性的,但也确有一些星官绘制得尚属准确,并非全都能用人为地硬行凑合来解释,这只能是绘制该星图的画师对某些星官的位置情况确有一点了解,或在绘制过程中以某一星图作过参考。虽然星图中大部分星象与实际天空情况确实大相径庭,但也不排斥对当时人们的认识有某种程度的反映。由于它比留存下来的最早的专业星图——敦煌星图早了不少年,这对了解古代人们对星象了解的沿



① 见《文物》,1974(12)。



革是不无益处的。

## 四、唐、五代墓葬星图

唐代的墓葬星图大都是随意绘制的，并不反映恒星间的相对位置情况。陕西省三原县唐初贞观年间的李寿墓石椁内侧就线刻了一幅天象图，它共有五块石板，两边的石板上分别刻有圆形的太阳、月亮图案，其中各绘有三足乌和月桂、捣药玉兔的形象。中间三块石板上绘有银河的轮廓。全图在太阳、月亮、银河的周围则分布有刻成小圈的恒星，并有若干星圈落在银河的轮廓之中。各星圈的排列虽不均匀，但也难以将其与实际星空对应，星圈之间概无连线，星象位置显属随意点刻。陕西省乾县唐高宗与武后合葬的乾陵附近发掘的 3 座陪葬墓中也有天象图发现。它们分别位于懿德太子李重润墓和永泰公主李仙蕙墓的后室顶部、章怀太子李贤墓前后室穹窿顶处。前两幅均是东绘中有金乌的太阳，西绘月亮、蟾蜍。用银灰为底色，用白色绘恒星和云彩纹的银河。李贤墓中天象图格局大体类似，只是太阳、月亮和部分星象上贴有金、银箔，月亮中画有桂树、蟾蜍和玉兔捣药的图案。星象原为白色，后加涂黄色。后室的天象图较前室更为精美。这些星图虽然华丽悦目，但其星象位置也似为随意绘上，很难将其与实际星官对应起来，也就未能反映当时人们对星空的认识水平，其在学术上的意义也就不是很大。在新疆吐鲁番县阿斯塔那村附近唐代一座古墓中发现墓室顶部有一幅二十八宿星官图，它呈正方形，二十八宿星官沿四边排列，绘制十分工整清晰，但与现传二十八宿星官的成员星排列形状有相当的差异，这对研究二十八宿的历史状况提供了直接的资料。但由于图形过于工整，它与实际星象可能还是有差别的，对研究工作也会造成一定的困难。星图的东北方绘有太阳，西南方绘月亮，中央绘五个星辰，可能是指五大行星，共成七曜。墓顶部有白色线条贯穿，似表示银河。该墓所对应的时代约在 8 世纪中叶。另有一残存的星占图也是发现在吐鲁番的唐代墓葬中。这件 8 世纪前后的写本上残存有二十八宿中的七宿（轸、角、亢、氐、房、心和尾宿）星官神像，并以圆圈表示相应星宫中的某些成员星，各星之间有线条连接。与此相应也有黄道十二宫中双子、天秤、天蝎三宫的图形或文字，这是目前已知我国最早出现有黄道十二宫图形的文献之一，具有一定的意义。五代时的墓葬星图以浙江省杭州的吴越国钱元瓘、吴汉月墓顶的两块石刻星图最为有名，它们在本章第五节中已经讨论过了。另外在南京南郊的祖堂山麓南唐皇帝李昪、李璟的陵墓钦陵和顺陵中均有天象图发现。钦陵后室顶上绘有日月星辰，星辰用红色圈中涂淡蓝色表示，现存 109 颗，部分星象之间有红线连接。在江苏省邗江、南通两地还发现了南唐墓葬的墓志盖上刻有天象图，其内周刻日、月和华盖、杠、勾陈星官、八卦，中间一圈刻有十二生肖，外周则




为二十八宿星官，墓志盖四侧斜面则刻有四象图形，但其学术意义并不太大。

## 五、宣化辽墓彩绘星图

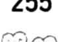
较为引人注目的墓葬星图是1974年在河北省张家口市宣化区下八里村发现的辽代彩绘星图。宣化辽墓为砖砌仿木结构，墓室分前后两室，均为穹窿顶。墓室四壁均绘有壁画，彩绘星图则位于后室穹窿顶部的正中央。其直径约为2.17米。在其中心处原悬有铜镜一面，其四周则绘成莲花形，莲花重瓣，两层各九瓣，用红、白二色加墨线勾绘而成。铜镜直径约35厘米，用以象征天空的中心。莲花外径有100厘米。莲花外以白色为底，上涂以淡蓝色，以象征天空，并分三层绘制星象或有关图形。其内层的东北方向绘有北斗七星，但其排列方向是与实际天象相反的。在斗柄第二星开阳附近绘一小星，即辅星。内层的正东则绘一红色大星，直径达6厘米，星中画金乌展翅南飞，表明这是太阳从东方升起，经南方向西运动。另有四颗稍小的红星分别在东、西、南、北四个方向上，四颗大小类似的蓝星在东北、东南、西北、西南的方位上，夏鼐在《从宣化辽墓的星图论二十八宿和黄道十二宫》一文中认为它们“当是代表月亮、五行星和计都、罗睺二星。它们和太阳在印度的天文历法中称为‘九曜’。”“星色分红、蓝的原因，按《开元占经》卷二十引后汉郗萌及《石氏占》和《荆州占》，以为五行星中金、水、土三星属阴，加上月亮为太阴，共四阴；木星、火星则属阳。疑计、罗二曜亦属阳，共为四阳。故用蓝、红二色分别标志阴、阳。”这或许是正确的。中层则按照周天方位绘出了二十八宿星官。星以红点表示，直径2～3厘米，各宿成员星间以红线连接。各宿的成员星数及排列形状与现传大致相同，只有少数星官略有差异。但各星官的相对大小和位置情况与实际星空有相当的不同，有的星官的排列方向也与实际有显著差异。以上二十八宿星官共绘169星。外层则是黄道十二宫的图形，图形基本均匀排列，但正西方的金牛宫被盗墓人所毁而无存。各宫的图形与其所相应的西方星座名称是对应的，但有的已经中国化了。例如人马宫并非是西方所绘弯弓射箭的人首马身形象，而是绘一执鞭人牵着一匹马，马色橙黄，人黑帽、红衣、蓝裤。双子宫也非西方所绘俩坐地幼童的形象，而是双立人形图像，左为戴软巾、着短衣长袍的男子，右为具高髻、着红衣蓝袍的女人，二人皆拱手而立。这一形象倒与《明史・历志》中所载回回历法黄道十二宫里的阴阳宫的名称更为相符，也有人称其为夫妇宫。室女宫则绘了两位着中国古代服装的女人，而不是西方只有一个长翅膀的仙女形象，故《明史・历志》中称其为双女宫。摩羯宫的形象也不是鱼尾羊角的怪兽，而变成了龙首鱼身。这些都表明黄道十二宫的形象已受到适合中国人们口味的改造。各形象均绘在一直径约21厘米的圆圈中，鲜艳生动，美观清晰。将黄道十二宫的图像与二十八宿图形对



比可知它们大体上来说还是相互对应的，各宫的位置也大致准确，相邻两宫的方位基本上都是相差 30°的角度，十分对称。虽然黄道十二宫早在隋唐时期(可能更早)就随着佛教的传入中国而东来，但在我国传统的天文学中并未得到反映，直到明末西方传教士东来，中国传统天文学受到西方天文学的影响后才正式出现了有关的概念(隋唐时期的九执历和以后的回回历中虽早有这一概念，但它们只是独立的外来历法，并未融合进传统天文学之中)。但宣化星图中有将黄道十二宫与中国传统的二十八宿进行对应的画法，它反映了东西方天文学交流的情况。如果说上文提到的在新疆吐鲁番唐代墓葬中发现的残件星占图上已经有了黄道十二宫中某些宫与二十八宿对应的先例，它反映了在西域地区中西天文学的碰撞与融合的情况，宣化星图则完整地反映了在中原地区的相应情况。根据所发现的墓志，宣化辽墓的墓主张世卿，曾在辽代为官，于辽天庆六年(1116)去世。这幅星图比唐星占图所对应的年代虽然晚了数百年，但由于其完整性、所发现的地区和同类文物的匮乏，它受到人们的重视是理所当然的。它确是研究东西方文化交流的重要资料。

从以上的情况我们可以看到，作为墓葬中天空的一种象征，墓葬星图的科学意义是十分有限的，然而作为丧葬中的一种文化现象，它能反映当时社会的有关情况，对人们了解当时天文学的发展水平、天文学知识的普及情况提供了客观、可靠的资料，从而也就具有一定的重要意义。





# 第八章　中国古代地理位置的确定

## 第一节　中国古代对地理位置认识的发展

因为表示地理位置的方式，取决于采用什么样的坐标系，要选用坐标系就必须知道地球表面的形状。现在知道地球表面是旋转椭球面，或者说近似于球面。但是对于古人这是一个不容易立即回答的问题。其原因就在于人类一直依附于地球表面，正是“不识庐山真面目，只缘身在此山中”。

在远古时代也许还没有人提出过地理坐标在确定地理位置时的重要性，但是人类对于赖以生存和繁衍的摇篮，就是出于其他各种的原因，也会提出形状问题，即或一时没有科学的解答，但必然有这样和那样的猜测，对于尚未具备太阳系概念的时期，地球形状问题往往与宇宙结构问题联系在一起。对于地球形状的认识，人类经历了漫长的年代，而且出现过反复和争论。

现代的科学家不仅仅认识到地球是旋转椭球体，而且根据卫星测量结果，得知地球还是北极半径略短，南极半径略长的梨形。就是达到了这样细致的表述，但仍然不能满足某些科学技术的需要。探索还将不断地继续下去。

关于对地球呈椭球形状的认识，是在1735年法国科学院的测量队分赴秘鲁和北欧的观测后才确认的。换言之，到现在才经过200年，又借助于卫星大地测量就把地球的形状的认识推进了一大步。而对于地球是平面还是球形的问题，则经过了2000多年的争论与反复的过程。由于我们在这里考察的是古代天文学，因此我们恰恰感兴趣的是对地球球形的确认过程，虽然球形仅仅是对地球形状认识的第一近似，但对于我们已经足够了。



在对地球是球形认识问题上，最先闪烁出人类智慧火花的是古希腊的先哲们。公元前6世纪后半叶，毕达哥拉斯(Pythagoras)就提出了地球是圆球形的观点。大约在毕达哥拉斯的2个世纪以后，亚里士多德(Aristotle)用物理方法做出了论证，支持了地球是圆球形的学说。公元前3世纪埃拉托色尼(Eratosthenes)进行了子午线弧长的测量，得出地球半径6 267千米，它与现代精确值相比，只有2%的误差。到公元前1世纪波斯丹尼(Posidonius)又一次进行弧长测量，得到了地球半径值比现代精确值有11%的误差，远逊于200年前埃拉托色尼的结果，此后就没有更





多的推进。最可惜的是古代希腊学者已经逼近客观真理的光辉思想，到公元前1世纪就停滞了。从公元后6世纪开始，西方的文明进入了黑暗时期，宗教的桎梏扼杀了人类的智慧，自然科学研究也陷入了停顿状态。人类对地球的认识不再向前迈进。在宗教的干预下，地球不再被认为是圆球，而大地是被海水包围的圆盘。以至于到了15世纪末伟大的航海地理学家哥伦布(Colombo，1451－1506)需要亲身绕地球航行一周，用实践来支持球形地球的学说。到16世纪初，伟大的天文学家哥白尼(Copernic，1473－1543)，在他那本不朽的著作《论天体的运行》一书中，还要不厌其烦地重新论证地球是球形。由此可见关于地球是圆球形这一现代中学生都清楚的知识，人类认识它却经历了数千年的漫长历程。

中国古代天文学家虽在有些领域曾闪耀过思想光辉，为全世界各民族所叹服，但对于人类赖以栖息的地球，中国古代天文学家在认识它的圆球形状问题上，与古希腊的同行相比，却是略逊一筹。

中国古代到底有没有产生地球是球形的认识，到现在为止，研究中国古代宇宙结构学说的专家仍然争论不已。

一派学者认为浑天说就是主张地球为球形的学说，他们援引张衡(78—139)的《浑天仪图注》来证明浑天家的地球球形观："浑天如鸡子，天体圆如弹丸；地如鸡中黄，孤居于其内。"又说"天之包地，犹壳之裹黄"。因此这一派学者认为浑天说的真髓是浑圆的天球和其中球形大地，不应该有什么疑问。

另一派学者却提出了疑问，王立兴指出历来制造浑天仪的浑天学家有30余人，都是按照球形天壳包裹着大地的模式来设计制造的。他们共同的地形观是，地体只在下半个天球壳之内。认为天球壳球心以上没有地体，而且地面是平坦的。即半个蛋黄，切面在上。





张衡说："用重差勾股，悬天之景，薄地之义，皆移千里而差一寸而得之。"又说"八极之维，径二亿三万二千三百里，南北则短减千里，东西则增广千里，自地至天，半于八极，则地之深亦如之，通而度之，则是浑已。"这里张衡明确地提出地的表面是八角形但不是正八角形。

另一位古代浑天家葛洪"又中分之，则半覆地上，半绕地下"。这里葛洪指出地中(即地球的上半面)平分了天球壳。因之张衡、葛洪这两位具有代表性的浑天学家对于地形的看法，最多也只是像半个蛋黄，而且平坦的切面在上。

唐代著名天文学家一行进行了举世闻名的子午线弧长的测量，可以说已经走近认识地球是球形这一客观真理的边缘，可是他从来没有认识到地球是球形。因为一行的测量目的只是为测量"天高"，他的思维模式不对，因而绕过了真理的门槛，而错误地算出天球直径有5万里，自己也对这样算出的"天高"太低，即天球壳

太小而感到茫然。

另一位恪守浑天说的邵雍在《皇极经世序言·观物内篇》中指出:“地东南下西北高,是以东南多水,西北多山也;天覆地,地载天,天地相涵,故天上有地,地上有天。”实际上也是指地形是半个蛋黄,地平面斜放着,绝非浑圆。

宋代浑天家自夸“地平,并占满了下半个天”是自己的学说特点,地形观还是半个蛋黄。赵友钦(南宋末年生,元初卒)说得更清楚:

> 由是观之,所谓天如弹丸者,得其圆象之似;所谓天如倚盖者,但以言其顶斜倚而辐辏;所谓天如鸡子者,言其天包地外而已。

赵友钦的地形观是:

> 由是观之,天如蹴球,内盛半球之水,水上浮一木板,比似人间地平板上杂置微细之物,比如万类。蹴球虽圆转不已,板上之物俱不觉之。

由于浑天说主张地球为球形的论点比较多地为人们所接受,而对于持反对论点的比较少,因此在这里比较多地引用持疑义的意见,而持疑义的几位专家曾有大批论文发表,试图改变大多数专家的意见。其中,王立兴的论文《浑天说的地形观》[①]具有代表性。但是这种争论终究是关于对古代宇宙结构学说理解的争论,有些甚至是哲学的争论,这不是本书的内容,因此我们并不拟介入这种争论。但是从本书内容出发,我们认为中国古代并没有建立明确的地球球形观点,特别要强调的是“明确”,因为如果有明确的观点,则中国古代天文大地测量就应该建立球面坐标系。就像描述恒星位置那样的坐标系。而所有对地理位置的量的描述上,中国古代恰恰都表现为平面坐标系,在这一点上,我们想是争论双方都不会反对的事实。而真正建立球面坐标系的经度和纬度则是明清之交西方传教士带进来的。





应该指出,没有建立完整的经纬度所表现的球面坐标系是一回事,但是在中国古代天体测量高度发达下,不可能不真实地感觉到地球是球体的后果,则又是另一回事。因而中国古代天文学家从另外的角度接近地球球形这一客观存在,有时还擦边而过,留下了客观的资料,也是非常值得珍惜的。

早在战国以前的《周髀算经》上载有:

> 正南千里,勾一尺五寸;正北千里,勾一尺七寸。候其影使表相去二千里,影差二寸。

在该书中北周甄鸾重述得更明确:

> 南戴日下立八尺表,表影千里而差一寸,则天上一寸,地下千里。

这就是把中国古代天文学家的思想拘泥了 1 000 多年而实际上是错误的先儒

① 见《中国天文学史文集》第四集,科学出版社,1986 年。



定论:“地差千里影差一寸”,这个错误结论的错误是数值上,“千里”和“一寸”并不准确。所以一行解放思想,用科学的方法得出是地差351里80步而北极出地高差1度,一行得出了比较准确的结论。但是这件事恰恰从反面告诉我们地上南北距离相差,其晷影是有差的,也就是说南北距离相差,太阳在冬至日的高度就有差异,这实际上是球形地球的反映。就是说,中国人发现了这个现象,但没有沿正确的思维道路得到正确的解释。

正是如此,历代中国所出现的地图有春秋战国时代的九州之图,《管子》的兵要地形图、水利图以及近年出土的马王堆汉墓中的汉代地图,有汉初地形图、驻军图、城邑图。西晋著名制图学家裴秀(224—271)在创立制图六体的理论时(六体系指分率,即比例尺;望准,即方位;道里,即里程;高下,即地形高低;方邪,即方斜;迂直,即迂回曲直)都没有提出球面坐标系的经度、纬度概念。

东汉马援(前14—49)的聚米图(即地形模型),唐代贾耽(730—850)的海内华夷图等古代地图都不考虑地面的曲率,而当作平面来处理。

当然在以平面来处理地图问题时,对于小范围的地图差异不大,也可以有适当的精确度。但对于大范围的地图,则只有中心地区准确,离中心愈远,误差愈大。

如上所述可以看出中国古代虽然出现了天极高度(如一行的精确测量),这已经和现代的纬度的概念几乎是一回事,但是一行及其后人都没有得出现代科学意义上的纬度概念,至多只是给出了计量南北不同地方的一种表示方法。

至于经度的概念,距离中国古代天文学家更远。在很多经典天文著作中几乎没有反映。一直到13世纪元代的耶律楚材(契丹族人,1190—1244)才提出了近似经度的概念。




因为经度是球形地球的球心在东西方向的夹角,地球自西向东旋转,它表现为同一瞬间,东西方向不同两地的地方时间差,一般地要有比较精确的计时器和使两地同时看到的天象记录才能察觉出来。在古代唯一容易使两地同时看到的天象就是月食。元太祖十五年(1219)耶律楚材随成吉思汗西征。1220年到达寻斯干城(今撒马尔汗)。按照大明历预报,这一年有一次月食,其食甚应该在夜半子正。但耶律楚材在寻司干城观察,不到初更,月食已经结束,与大明历预报相差一个时辰。当时一般认为大明历已经使用近百年,可能积累了较大的误差,而耶律楚材认为东西相隔万里,是造成预报月食与观测月食相差的原因,提出了“里差”的概念。在《元史·历志》中记载:

> 以寻斯干城为准,置相去地里四千三百五十九乘之退位,万约为分曰里差。

“里差”已经近似经度差的概念,并指出只要知寻斯干东西方向上的距离,都能

算出里差。后来元代的苏天爵(1294—1352)在编写《国朝名臣事略》一书中关于耶律楚材的这一工作时写道：

> 盖大明(历)子之正，中国之子正也。西域之初更，西域之初更也。西域之初更未尽时，焉之不为中国之子正乎？

这样就明确地提出了地方时的概念。

在耶律楚材稍后，一位西域天文学家札马鲁丁(Jamal al-Din)于元至元四年(1267)应元世祖忽必烈召请负责制造了7件西域仪象即阿拉伯的天文仪器，其中有一件称为"苦来亦阿儿子，汉语为地理志，是一个以木为圆球，七分为水，其色绿，三分为土地，其色白，画江河湖海，脉络贯于其中。画作小方井以计幅员之广袤，道里之远近"，这是一台具有现代地球概念的地球仪。

耶律楚材发现的里差，札马鲁丁制造的地球仪有其一定的历史背景。一则是蒙古族统治的领土跨度在东西方向上比历代都辽阔，比较容易进行东西交流。而且东西征战的活动时，人能感觉到因经度差异而带来的不同天象(例如月食)。二则是阿拉伯天文学家在公元9世纪接受了古希腊、印度的文化，显然亚里士多德球形地球的概念较早地为阿拉伯古代天文学家所接受，所以耶律楚材的发现和札马鲁丁的地球仪是中西文化交融的结果。

但是，耶律楚材的《庚午元历》实际上没有颁行；郭守敬的《授时历》也没有采用"里差"；札马鲁丁的地球仪也没有在中国产生深远的影响。一直到利玛窦来华后经过排斥和接受的激烈争论以后，由于开放思想较深的中国天文学家徐光启等人的努力，才最终实现了中西科学文化的交融，而且是经历了非常艰苦的过程。





## 第二节　一行与南宫说在测量地理纬度上的贡献

众所周知，一行从来没有建立过球形地球的概念，当然更不可能建立以球面坐标系来表征地理位置的经纬度概念。但是有趣的是在唐开元十二年(724)进行的那一次著名的天文大地测量，不仅仅得到了子午线弧长和地球半径，也意外地留下了这些观测站的首次地理纬度值。这两项著名的科学成果，其中关于子午线弧长和地球半径测定在前面一章中已经详细叙述，并非出于一行和南宫说的目的，他们的预期目的是为了测定"天高"，以证实或否定"地差千里，影差一寸"的先儒定论。

一行和南宫说这次观测记载见于《旧唐书·天文志》：

> 林邑圜北极高十七度四分，安南都护府北极高二十六度六分，朗州武陵县北极高二十九度五分，襄州蔡州上蔡县武津馆北极高三十三度八分，许州扶沟北极高三十四度三分，汴州浚仪太岳北极高三十四度八分，滑州



白马北极高三十五度三分，太原府蔚州横野军北极高四(误为三)十度。

根据记载，这些结果的取得是用“覆矩斜视北极出地若干度”而测定的。这是一种测角的仪器，同时他们还使用了圭表测影的方法对这些测站进行了观测。

按记载原文，一行和南宫说的结果是北极高度。按照现代的天文知识，北极高度就是观测站的纬度。但是当时在北极点上没有明确的可观察到的标志。就是现代我们所看到的北极星，在当时离开北极点至少有6°之差。而我们发现这些记载与现代所测得的测站纬度之差不多于1度，那就说明在一行和南宫说的观测中是采用了另外的有效方法才得到了北极高度。按照现代天文知识猜测，最简单的方法就是测定北极星上中天和下中天两次观测的平均。可惜没有留下正式记载。这个猜测无法认定。

记载中所能收集的共有9个观测站，如果把中国古度换算成现代的角度计量则得表8－1。

**表8－1　一行，南宫说的北极高度观测**

| 观测地点 | 北极高(古度) | 地理纬度 |
|---|---|---|
| 阳城 | 34.4 | 33°.9 |
| 滑州白马 | 35.3 | 34°.8 |
| 汴州浚仪 | 34.8 | 34°.3 |
| 许州扶沟 | 34.3 | 33°.8 |
| 蔡州上蔡 | 33.8 | 33°.3 |
| 林邑 | 17.4 | 17°.1 |
| 安南都护府 | 20.6 | 20°.3 |
| 朗州武陵 | 29.5 | 29°.1 |
| 蔚州横野 | 40.0 | 39°.4 |





这恐怕是世界上最早的一次非常正规的纬度测量。

## 第三节　郭守敬的四海测验

我国元代著名的天文学家郭守敬(1231—1316)在13世纪领导进行了一次全国范围的天文大地测量。其中包括纬度测定，称之为四海测验。

元至元十六年(1279)，郭守敬向元世祖忽必烈提出了建议，记载如下：

唐一行开元间令南宫说天下测景，书中见者凡十三处(作者注：实际是11处，前一章已经论证过)，今疆域比唐尤大，若不远方测验，日月交食分数时刻不同，昼夜长短不同，日月星辰去天高下不同，即目测验人少，可见先南北立表，取直测景。帝可其奏遂设监候官一十四员，分道而

出，东至高丽，西极滇池，南验朱崖，北尽铁勒，四海测验凡二十七所。

从这里我们可以看出，在郭守敬看来自从一行和南宫说在公元8世纪领导的那次大规模的天文大地测量工作以后，500余年在大地测量工作中几乎没有任何突破性进展。郭守敬基于元朝的领土疆域的扩大，提出应该在更大的地区范围内进行新的天文大地测量联测。提出这个计划固然是作为一个天文学家的学识，也可能和郭守敬同时也是一位水利学家的知识有关。

一行的那次天文大地测量目的是为了考证“地隔千里影差一寸”的先儒旧说，而郭守敬提出这次计划的目的则是为编制完善历书的多方面的需要，因此郭守敬的科学研究目的要比一行广阔得多，从而测量的内容也比一行要丰富得多。

郭守敬提出要验证日月交食分数时刻不同，要验证昼夜长短不同，要论证日月星辰去天高下不同，这实质上说明已经感觉到球形地球对地面上观测者所产生的效应，郭守敬比一行向前推进得更多，只差明确认识出地球是球形这一客观真理。自然郭守敬像他的先辈一样，还只是在这个真理门槛上擦边而过，仍然没有彻底得出正确的认识。

除此以外，郭守敬还指出：“历之本在于测验，而测验之器莫先于仪表。”郭守敬准确地抓住了问题的关键，就是要提高观测的精确度就必须建立新的观测仪器并改进观测技术和观测方法，在这方面，郭守敬做出了很多具有创造性的工作。

郭守敬有效地改进了圭表的长度，过去人们早已知道日影愈长则读数分辨本领愈细，所以圭表长度的增高是郭守敬以前天体测量学家所致力的方向。在汉代太初四年在长安灵台所造的铜表，高8尺，长1.3丈，宽1.2尺。到南北朝梁武帝大同十年（公元544年），则用9尺高表，在《淮南子·天文训》中有“欲知天之高，树表高一丈”的记载。总之古代天文学家的表高均在8尺左右，没有采用更高的圭表，原因是太阳是一个面光源，面光源照射在表端造成表影的半影，会使表影“影虚”，也就是模糊不清，表愈高则影愈长，半影造成的影虚则愈严重。所以古代天文学家知道要提高表的高度，但在实践中又达不到预期的效果。郭守敬增加名称为“景符”的附件，《元史·天文志》载：

> 景符之制，以铜叶博二寸加长博之二，中穿一窍，若针芥然，以方匡为趺，一端设为机轴，令可开合，楮其一端，使其势斜倚，北高南下往来迁就于虚梁之中。……今以横梁取之，实得中景，不容有毫末之差。

实际上，郭守敬采用了光学上的小孔成像原理，解决了过去一直存在的影虚问题，这样一来，把表高提高到40尺，就把影长的分辨率提高了5倍。

在调整圭表方面，使量度表影的量尺圭，严格地与表正交，并处于严格的水平位置。根据《元史·天文志》记载：



圭表以石为之，长一百二十八尺，广四尺五寸，厚一尺四寸，座高二尺六寸，南北两端为池，圆径一尺五寸，深二寸，自表北一尺与表梁中心上下相直外一百二十尺，中心广四寸，两旁各一寸，画为尺寸分，以达北端，两旁相去一寸为水，渠深广各一寸，与南北两池相灌通，以取平。

这是一种用水置平的方法，也是现代用水准气泡置平仪器的先声。早在《周礼》中就发明了这种方法，尔后祖暅也使用过这种方法，不过郭守敬把这种方法进一步精细严格地加以实现，以提高观察的精确度。

郭守敬为保证量尺圭与表正交，还采用了铅垂线的方法，即："两端及中腰各为横窍，径二分横贯以铁，长五寸系线合于中悬锤取正，且防倾垫。"

在经过对观测仪器的精心改正和调整以后，郭守敬对 27 个观测点进行了实测，这 27 个观测点南北跨度是从 15 度至 65 度，观测记录的模式基本一致，现取大都（今北京）的观测记录为例：

大都北极出地四十度太强，夏至晷景长一丈二尺三寸六分，昼六十二刻，夜三十八刻（原文误为三十二刻）。

这个记录表明，观测给出了北极出地高度，与一行、南宫说给出的形式是一样的。还给出夏至晷长，并给出昼夜的时间间距，时间间距是采用的一昼夜为 100 刻的古代中国的一种计时制。

在记录中有"强"、"半强"、"太强"、"太弱"、"少"、"太"等分数制的描述，我们在第三章中已经论及。

如果把中国古度化算为现代角度，则根据《元史・天文志》的文字记载，将其表格化如表 8—2。




**表 8—2　郭守敬的"四海测验"结果**

| 观测点 | 今地名 | 测定纬度（古度） | 折合今度 | 夏至表影（尺） | 昼长（刻） | 夜长（刻） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 南海 | | 15 | 14°.8 | 表南 1.16 | 54 | 46 |
| 衡岳 | 湖南衡阳 | 25 | 24°.6 | 表端无影 | 56 | 44 |
| 岳台 | 河南开封 | 35 | 34°.5 | 1.48 | 60 | 40 |
| 和林 | 乌兰巴托西 | 45 | 44°.4 | 3.24 | 64 | 36 |
| 铁勒 | 贝加尔湖西 | 55 | 54°.2 | 5.01 | 70 | 30 |
| 北海 | 西伯利亚中 | 65 | 64°.1 | 6.78 | 82 | 18 |
| 大都 | 北京 | 40 太强 | 40°.2 | 12.36 | 62 | 38 |
| 上都 | 内蒙古多伦 | 45 少 | 42°.6 | | | |
| 北京 | 辽宁宁城西北 | 42 强 | 41°.5 | | | |
| 益都 | 山东益都 | 37 少 | 36°.7 | | | |

续表

| 观测点 | 今地名 | 测定纬度（古度） | 折合今度 | 夏至表影（尺） | 昼长（刻） | 夜长（刻） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 登州 | 山东蓬莱 | 38 少 | 37°.7 | | | |
| 高丽 | 朝鲜开城 | 38 少 | 37°.7 | | | |
| 西京 | 山西大同 | 40 少 | 39°.7 | | | |
| 太原 | 山西太原 | 38 少 | 37°.7 | | | |
| 安西府 | 西安 | 34 半强 | 34°.1 | | | |
| 兴元 | 陕西汉中 | 33 半强 | 33°.1 | | | |
| 成都 | 成都 | 31 半强 | 31°.1 | | | |
| 西凉州 | 甘肃武威 | 40 强 | 39°.5 | | | |
| 东平 | 山东东平 | 35 太 | 35°.2 | | | |
| 大名 | 河北大名东 | 36 | 35°.5 | | | |
| 南京 | 河南开封 | 34 太强 | 34°.3 | | | |
| 阳城 | 河南登封 | 34 太弱 | 34°.2 | | | |
| 扬州 | 江苏扬州 | 33 | 32°.5 | | | |
| 鄂州 | 湖北武汉 | 31 半 | 31°.1 | | | |
| 吉州 | 江西吉安 | 26 半 | 26°.1 | | | |
| 雷州 | 广东海康 | 20 太 | 20°.5 | | | |
| 琼州 | 海南琼山 | 19 太 | 19°.5 | | | |

这个结果是明清西学东渐以前，由中国天文学家最后完成的一次独立的天文大地测量，其测量的规模在当时世界上也是少有的。

## 第四节 清代的天文大地测量





明万历十年（1582），耶稣会传教士，意大利人利玛窦（Matteo Ricci，1552—1610）奉命来华传教，1601 年被明王朝批准长驻北京，得以和当时中国天文学家徐光启频繁交流。利玛窦与徐光启合作，翻译了欧几里德的《几何原本》15 卷中的前 6 卷，与李之藻合作，翻译了《同文算指》，于是较全面地把西方的数学引进中国。同时利玛窦还向徐光启等人介绍了欧洲天文学中关于黄道坐标系，恒星星等，地球球形概念，晨昏朦影等天文学方面知识。并著有《乾坤体仪》、《圜容较义》和《经天该》等专著，这样就开始了中国和西方天文学的交融时期。

欧几里德几何学和三角学的传入，事实上改善了中国古代一贯采用代数方法研究天文学的传统，使天文学能够更直观地理解周围的宇宙结构。

徐光启等接受西方天文学的知识，首先是引入编历工作。这是很自然的，因为编历工作是中国封建王朝的国家大事。《崇祯历书》就是最为完整的西学东渐后的



代表作。在这一工作中，对于本章内容直接有关的就是引入了球形地球的概念，以及确定地理位置的球面坐标体系，也就是现在为人们所熟知的经度纬度的测定和计算方法。

但是明王朝没有完成这一工作，于1644年被清军攻入北京。耶稣会另一德国传教士汤若望(Johann Adam Schall von Bell，1591—1666)把《崇祯历书》窃为自己的著作呈献给清王朝，并获得清王朝首任钦天监监正的官位。如果不计及唐代的一位印度裔的天文学家，这也许是中国自古以来第一次任用一纯粹的外国人担任皇家天文台台长的要职。汤若望任职以后著有《历法西传》，系统地介绍了哥白尼和开普勒的科学成果。在经历一段与墨守旧法的中国天文学争论并进行实践检验以后，清王朝接受了西方天文学，于康熙八年(1669)任用比利时传教士南怀仁(Feridinaral Verbiest，1623—1688)编制新历，从此西方天文学就在中国取得了主导地位。

与历代封建王朝一样，钦天监仍然是以编历为其首要任务，清初的钦天监在北京的观象台仍然使用传统的圭表测影为编历服务，自然也同样可以测得北极高度。但是南怀仁于康熙十二年(1673)还研制了六具天文仪器：赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平经仪、地平纬仪、纪限仪和天体仪。其目的还是为了改进传统的历书编制工作。但是这些仪器的原理和使用方法，对于各地测点的地理位置测定产生了有益的影响。

清王朝开国以后，疆域版图迅速扩大，与邻国的政治、经济交往愈来愈多，因此迫切需要精确的地理图。为此提出了建立《皇舆地图》的计划，而开展了大规模的经纬度测量。在实施《皇舆地图》计划前，做了若干准备。




康熙二十二年(1683)测定了盛京(现为沈阳)的地理纬度。《清史稿》记载：

> 初南怀仁奏各省北极高度不同，其交合之时刻食分俱不等，全凭各省之九十度表推算，向来不知盛京北极高度。即用京师之九十度表，今测得盛京北极比京师高二度。

《清史稿·时宪志》详细叙述了测定北极高度的方法是：

> 测北极高度以定天体于冬至前后，用仪器测勾陈大星出地之度，酉时此星在北极之上，候其渐转而高至不复高而止，卯时此星在北极之下，候其渐转而低至不复低而止，以最高最低之度折中取之为北极高度。

康熙四十三年(1704)又对“自北极高44度巴尔古尔河，以至68度武地河之处，俱照盛京之例，增衍列表。”

康熙四十六年(1707)正式开展了大规模的天文大地测量和三角测量。从1708～1716年测定和推算了630个观测地点的经纬度。

关于纬度,实际上前面已经叙述过就是北极高度,这次的测量和郭守敬不同的是明确提出了纬度的概念,当然这也是完全接受球形地球的观念才能引申出来的结果。

关于经度,其问题要复杂得多。按照现代的概念,所谓两地的经度差,就是同一瞬间两地的地方时之差。怎样确定"同一瞬间"是一个非常困难的问题。因为要确定同一瞬间,则必须有一个共同感觉到的事件作为标志。现代用无线电通信则不觉得困难,而古代只能同时观察一个天象(例如月食)。在 18 世纪,法国科学院曾经悬赏征求解决经度测定问题的新方法,足见在世界上也曾经是一个科学难题。自然在中国也是如此。按照《清史稿》记载,当时确定精度分成两步进行,首先引入"里差"的概念。如前述"里差"一词最早源于元代的耶律楚材,而当时就是观察月食的发生其地方时不同而引进这个概念的。这一概念在清代进一步得到明晰:

> 里差者因人所居有南北东西之不同,则天顶地平亦异,可以计里而定,故名里差。其所关于仰观其钜盖,恒星之隐见,昼夜之永短,七曜之出没,节气之早晚,交食之深浅先后莫不因之各殊,唯得其所差之数则各殊之,故皆可豫之,不致诧为失行。

可见"里差"这一概念,并不只是经度差,对于纬度也有差,后者则与子午线弧长联系在一起,而东西之里差,则与观测地所在纬度圈有关,因之在第一步中引进里差概念同时还给出了不同纬圈上东西相距一度的里程值:

> 今以天周三百六十度征之,南行二百里,则北极低一度,北行二百里则北极高一度,东西当赤道下行二百里则见月食之早晚亦差一度,在赤道南北纬圈下行,虽广狭不同,然莫不应乎浑象……距纬应大周里数不同为志其要。





接着就详细给出了纬度圈每隔 5 度,其东西相距的度的里数。例如"距纬一度是一百九十九里三百四十步"。又如"距纬三十五度,一百六十三里二百八十步","距纬八十九度,三里一百六十步"等包括东西相距一度,在各种纬度圈上对应的里程,共 19 组对应值。

有了这个对应值,那么第二步工作就是对东西方向进行测距,或者进行三角测量,求出东西相距直线距离,用上面基本数值换算即可得到经度差。

这次天文大地测量所使用的仪器,大约仍然是中国传统的天体测量仪器。据《历象考成》记载:"命台官分测各省……之北极高度,东西偏度。极高度者,皆以测影测星定之,偏东偏西屡测月食时刻定之"。显然,这是以太阳中天高度法为主以测纬度,以月食法测经度差。月食机会很少,而且观测精度不高,所以除少数天文观测基点外,大都是用三角测量的方法,即测定边长、夹角后推得的。



在这次测量的成果中，很明显地保留着中国自己的特色：仍然把纬度称为北极高度。虽然这两者在现代是等同的概念，但是沿用北极高度则完全反映了中国化的特征；而经度则称之为东西偏度，例如江苏苏州府，北极高度为 31°23′，京师偏东为 4°01′。这就表明纬度的零子午线是取的通过北京的子午线，这和 19 世纪以后全世界取英国格林尼治子午线为经度零子午线是不同的，这里也表现了中国化的特征。

在康熙亲自领导的这次天文大地测量工作中，还有两项成果值得给予专门的评价。

其一，在这次测量活动中，于康熙四十一年(1702)派人在北京子午线上测定了霸州(今河北霸州市)至交河间的子午线弧长，康熙认为："天之一度即地之二百里，但各省地里有以大尺者，有以八寸小尺量者，画地理图稍有不合者，即此故也"。

康熙四十九年(1710)又派人在齐齐哈尔之南，沿北纬 41 度至 47 度之间进行了子午线测量并于康熙五十年，谕大学士曰："天上一度，即有地下二百里。自古以来绘舆图者，俱不依照天上之度数，以推其地理之远近，故差误者多"。并"以工部营造尺的标准，并规定以此尺为单位，即以一千八百尺为一里"。

这实质上是把长度单位的定义和子午线弧度联系在一起的概念，应该说这位康熙大帝具有开创性的科学思想。这种科学思想在 80 年后，才于 1791 年由法国科学家提出，以地球赤道半径的分数来规定长度计量的米。

其二是通过上述两次子午线弧长的测量的实际结果，发现了纬度越高，每度子午线弧长越长。这实际上是地球非正球形的证据。从理论上牛顿提出过地球是椭球体的理论，而这一次用实测结果支持了牛顿的理论，这在世界上还是第一次。




康熙五十八年(1709)，《皇舆全览图》完成，"二月己卯，学士蒋廷锡表进皇舆全览图，颁赐廷臣"。这一工作包括了东经 40°以东，北纬 55°以南地区，共有 630 个观测点的巨大工作，不仅仅是所辖疆域之广，还有对于子午线弧长与长度计量相联系，还有对地球非正球形之论证，应该认为它是具有世界水平的天文大地测量工作。但是过去有的学者认为这是西学中用的结果，并非中国土生土长的科研结果。在研究中国古代科学史中总觉得有些遗憾，其实这种遗憾是完全不必要的，因为任何科学的思想和科学的概念一旦产生都应该属于全世界。西方人新建立的正确概念，中国人引进来使用，并取得实际的结果，这是科学交流的正常现象。中国人自己领导完成的实践，理所应当地引为骄傲，何况康熙帝本人就精通数学、物理学和天文学，他不仅仅是一位帝王，而且是一位科学成果的领导者，这应该不折不扣地视为中国人的成果。

自《皇舆全览图》完成当年，琉球请求策封，清政府派员策封琉球国故中山王之

曾孙尚敬为中山王,并同时进行测绘。这次测量经度是利用了康熙五十八年七月十五日一次月食进行的。测量纬度则使用了圭表测影。这次结果补充了《皇舆全览图》中的观测点,而恐怕也是这个岛国有史以来第一次明确了它在地球表面的位置。

到清乾隆二十年(1754)六月,乾隆命测量新辟西疆北极高度及东西偏度。谕曰:"……左都御史何国宗,素谙测量……带西洋人两名,前往各该处,测其北极高度,东西偏度……"可见自康熙帝开创的全国天文大地测量工作,以天文经纬度测定作为基点,控制三角测量不断扩充和完善《皇舆全览图》成了清一代的定制而延续下来。乾隆二十一年、二十四年(1756 年和 1759 年)又补充测定了新疆吐鲁番地区开都河流域以及哈密至哈萨克巴尔喀什湖以南地区。

1934 年上海申报馆刊布的《中华民国新地图》就是以 200 年来清代地理图为基础的。因此清康熙开创的《皇舆全览图》在 200 多年的时期内,一直是我国唯一的一份国家地图。

## 第五节　测天体、定船位、导航向

航海天文学在现代天文学学科框架中是隶属于实用天文学的一个分支。航海天文学与天文大地测量学在本质上是一样的,就是要确定观测点的地理坐标。但是在任务目的上又略呈差别。航海天文学不仅仅要回答现在航船在哪里,而且还要回答航船应该向哪里驶去。特别在古代,电讯传播信息的设备还没有发明以前,对于船长而言,航船应该驶向何方,往往比航船现在在哪里更为重要。





中国古代没有航海天文学这一名称,近代的中国天文学史中也没有专门研究航海天文的著作,有关天文学在航海方面的应用,都散离在各种古典书籍中。1989 年,刘南威、李启斌、李竞等,在经过细心收集整理和实地调查以后,发表了他们的专著《中国古代航海天文学》①,使我们对于中国古代航海天文学方面的成就,得以窥其全貌。

中国的版图具有很长的海岸线,这就注定了中国古代早就有大规模的航海活动,并很早就产生了航海天文学的萌芽。

中国航海天文学或者确切地为天文学在航海中的应用,大致可以分为三个阶段:第一个阶段是早期萌芽阶段,主要是观天体定航向。第二个阶段是观天体,用仪器导航。这时已经形成了航海天文的雏形。第三个阶段则是以郑和航海图为代

① 刘南威,等:《中国古代航海天文学》,科学普及出版社广州分社,1989 年。



表的辉煌时期，这一阶段的著作才可以称为中国的航海天文学。

早期萌芽阶段，大多在某些著作中零星地表述出来，例如：

夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极寤矣(《淮南子》)。

夫群逆乎云梦者，必须指南以知返，竝乎沧海者，必仰辰极以得返(《抱朴子外篇》)。

大海弥漫无边，不识东西，唯望日、月、星宿而进，若阴雨时，为风逐去，亦无准……至天晴已，乃知东西，还复望正而进(《法显传》)。

昼者揆日而行，夜则考星而泊(《古今图书集成》)。

这些记录归纳起来就是在茫茫大海中航行，借助于天文知识，观察某些特定的恒星与星座，或者观察太阳视运行的方向，就能确定应该驶向何方。如果遇到阴雨绵绵或者阴云密布的天气，航船只得自由漂荡以待晴天。大约共同的特点是对于航船的地理位置并不十分关注，也许出于那时对地球球形结构的无知，也根本提不出航船所处的地理位置这样的问题。如果以甲古文中已出现“舟”字这一时代开始，这种被动的导航时期，在中国大约经历了 2 000 多年。

到 11 世纪末，我国把早已发明的指南针完全应用于航海，产生了导航仪器罗盘，并与天文导航合用，使中国航海术进入了一个新的时期。在朱彧《萍州可谈》中记载：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”在南宋吴自牧撰写的《梦粱录》中写到：“但海洋近山礁则水浅，撞舟必坏船，全凭指南，或有少差，即葬鱼腹……又论舟师，观海洋中日出日入，则知阴阳。”

在这个时期，已经走出了完全靠晴天观察星座确定去向的被动导航局面。依靠对磁针指南的知识，制造了近乎现代导航仪器的罗盘仪以及对于海上地理特征的经验选择航向，并使用天文导航进行控制。而且很可能已经产生了牵星测距以定航向的方法。





中国的航海事业的辉煌时期是明朝永乐和宣德年间(1405—1433)，其杰出的代表是世界著名的航海家三保太监郑和(1371 或 1375 年至 1433 或 1435 年)。他根据明王朝政治上的需要，即“成祖疑惠帝亡海外，欲纵迹之，且欲耀兵异域以示中国富强”，七下西洋。当时西洋则是指南海以西至印度洋一带的地方，经历了三十几个国家。这一伟大的行动，在客观上造就了中华民族的一次伟大的航海事业。正是航海事业的需要，也必然推进了航海天文学的发展，并使其达到一次发展的高峰。

这次航海的行为，保留至今的资料就是史学界通称的《郑和航海图》，而实际上它的原名是“自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番图”，这份资料由于收集在明代茅元仪编撰的《武备至》一书中，才得以保留下来。而《郑和航海图》则是后人

对《武备志》中这一份资料的简称。

《郑和航海图》包括序言 1 页，海图 20 页，过洋牵星图 2 页(共 4 幅)。在 20 页海图中有 3 页多载有牵星的数据。

《郑和航海图》并不是郑和的个人成果，它是在郑和接受航海任务以后，收集了宋元时代的测绘资料并事先还派人实地考察准备后绘制的，再经过 7 次航海实践进一步加以完善，因此具有较高的科学水平，后人曾评价此图为“其图列道里国土，详而不诬”。

而郑和以前，我们知道有唐代的一行、南宫说和元代的郭守敬进行过两次非常著名的天文大地测量工作，对于南北方向不同地点的天极高度都做过很多测量，也就是说对于现代我们所通行的，描述地面地理坐标的纬度概念，已经确切地掌握。对于经度的概念，虽然一直比较模糊，但金元时期耶律楚材发现“里差”的概念就已经打开了建立经度概念的大门，尽管我们没有任何资料可以证明经度概念在郑和时期已经建立，但作为航海的实地考察而言，确定小范围的东西方向的位置差是不困难的，因此郑和航海图在实际应用上是有价值的。它对于舰船所走过航线的周围给出了明确的相对的地理位置。

在这份航海图中我们最感兴趣的是两份牵星图，它说明了当时的一种天文导航方法。

根据李启斌的研究，牵星术是观测星辰的仰角以确定海上船舶南北相对位置的一种方法。在《郑和航海图》的记载中，牵星术已经非常完备，看来在郑和以前宋元时代已经开始使用了这种方法。按照明代李诩(1505—1592)在《戒庵老人漫笔》一书中记载：





苏州马怀德牵星板一副，十二片，乌木为之，自小渐大，大者长七寸余。标为一指，二指至十二指，俱有细刻，若分寸然。又有象牙一块，长二寸，四角皆缺，上有半指，半角，一角，三角等字，颠倒相向，盖周髀算尺。

它的观测方法是手持一牵星板，伸臂平行向前方，使板面与海面垂直，板下端引一定长之绳固定板与观测者之间的距离，观测时，使板下的边线与海天交线相合，上端与观测的天体相接，如果不能相接则换另一块牵星板，直至相接为止。这样拼成了一个直角三角形。牵星板的长度为一个直角边，观测者眼睛到牵星板下端的连线，也就是观测者手臂之长度为另一个直角边。观测者眼睛到牵星板上端的距离为直角三角形的斜边。于是按照三角原理很容易知道天体的高度，此高度与牵星板长度为对应关系。

当这种观测条件成立，则牵星板长度就直接反映了该天体的地平高度，因此每块牵星板标志出它的“指”数，“指”是一种计量单位，根据李启斌的研究，1“指”相



当于天体的地平高度为1°.9。以“指”来量度角度早在战国时代已经出现。唐代李淳风的《乙巳占》和瞿昙悉达的《开元占经》都曾引用战国时期的《巫咸占》中金星和月亮南北向距离的描述：“八月三日侯太白与月亮并准之，其间容一指，军在外有破军杀将，客胜；容二指……容五指，期三十日，军阵不惑。”

在近年来出土的马王堆三号汉墓出土帛书《五星占》的占文也有“指”的描述。

牵星术求得的天体高度，即牵星板所指示的天体的“指”数尚不能完全确定天体的方向。任何天体在不同的时刻，其高度是不一样的，只有在上中天时其天体才在南北相连的子午线上，也只有此时才知道航行的方向。或者在观测天体高度的同时记录时刻以计算它的时角，看来在古代并没有如此完善的天球坐标系的概念，也没有见到记录时刻的记载，因此当时并非按照现代概念来观测和计算，但是由实践知识积累而发展的牵星术却有明确的科学内涵。

《郑和航海图》中，自南京到苏门达腊一段，岛屿很多，有地面目标岛屿来定位导航不需要牵星定位。自苏门达腊到斯里兰卡一段要横过孟加拉湾，开始出现牵星数据。自斯里兰卡向西，海域辽阔，已无法依靠岛屿上的目标定位，则主要依靠牵星术。《航海图》则表明某星若干指、若干角，或某山若干指、若干角共70余处。刘南威、李启斌、李竞整理成表8—3。

**表8—3　《郑和航海图》中的牵星数据**

| 地名 | 牵星数据 | 地名 | 牵星数据 |
|---|---|---|---|
| 已龙溜 | 华盖五指二角 | 缠打兀儿 | 六指二角 |
| 沙拉溜 | 华盖六指一角 | 破儿牙 | 六指八角 |
| 门肥赤 | 华盖七指 | 起儿末二 | 八指 |
| 慢八洒 | 华盖七指 | 马哈音 | 九指 |
| 木鲁旺 | 华盖八指 | 麻楼 | 十指 |
| 官屿 | 华盖七指二角 | 阿丹 | 北辰五指 |
| 麻里溪溜 | 北辰指角 | 失里儿 | 北辰六指 |
| 柯枝国 | 三指一角 | 罗法 | 北辰七指 |
| 古里国 | 四指 | 坎北叶城 | 十一指 |
| 哈哈迭微 | 四指一角 | 杂葛得 | 十二指 |
| 歇立 | 四指二角 | 客实 | 十三指 |
| 安都里溜 | 北辰四指 | 佐法儿 | 北辰八指 |
| 加平年溜 | 北辰一指 | 阿胡那 | 北辰九指 |
| 木骨都东 | 北辰二指一角 | 大湾 | 北辰九指二角 |
| 黑儿 | 三指一角 | 麻实吉 | 北辰十二指 |
| 哈甫泥 | 角四指 | 忽鲁谟斯 | 北辰十四指 |
| 葛莽奴儿 | 五指 | 丁得把昔 | 北辰七指灯笼骨星八指半 |
| 阿者刁 | 六指 | 沙姑马山 | 北辰十一指灯笼骨星十四指半 |
|  |  | 南巫里洋 | 北辰十一指灯笼骨星十四指半 |

只要使用牵星板测定牵星数据，就能得知航船所在位置并确定船向。在《郑和航海图》中的牵星指数，用于定位颇为准确，看来是通过仪器进行观测后确定的。它表现出中国古代的天文学家已经制造出来一种独立的、属于当时先进水平的航海天文学仪器。







# 第九章　中国古代对天文常数的确定

## 第一节　岁差常数的确定和应用

### 一、岁差的本质和现象

1541年，哥白尼建立了日心学说，给出了我们太阳系的结构，但是他给出的仅仅是一幅定性的图像。1687年，牛顿发表了划时代的科学著作《自然哲学的数学原理》。在这部著作中，牛顿建立了完善的天体力学理论，从而把太阳系的结构，太阳系各类天体的各种运动特征进行了理论严密的定量解释。这样，在世界上的，牛顿以前的各个民族的天文学家（也包括中国的天文学家），数千年以来观察到的太阳系天体位置变化的各种天象，就由“知其然，而不知其所以然”的初级认识阶段而跃升为“知其所以然”的“自由王国”。所有太阳系天体运动特征都被牛顿的天体力学尽收眼底，得到了令人满意的解释。岁差就是地球运动的一种天象，自然也从牛顿天体力学那里被人们所彻底认识。

牛顿天体力学的基本出发点是，把讨论的对象看着是具有一定质量的数学质点。进一步用数学方法证明，对于密度均匀的正球体，当视同为球体质量全部集中在这个球体中心的质点时，这个球形天体也完全适用于牛顿的天体力学的基本定律。可是太阳系的天体并不是正球体。就以我们知道得最清楚的地球而言，它是一个旋转椭球体。在地球自转轴方向上的半径短，而在赤道圈上的半径长。极半径和赤道半径的比例是0.997：1.000。于是当我们把地球看成以极半径为半径的正球体时，那么看起来在赤道区域上就隆起了部分物质，隆起部分受到日、月、行星的附加引力的作用，而使地球运动表现出了更多的运动特征，这就是我们所熟知的，在天体力学中称之为“摄动”的问题。受日月作用力摄动的结果，地球自转轴绕着地球公转平面（即黄道面）的垂直轴做周期旋转，自转轴画成圆锥形轨迹，观察者看起来是赤极绕黄极画一个半径为23°.5的小圆，其周期约为26 000年。这种旋转的另一结果是黄道与赤道的交点之一的春分点沿黄道有迎向太阳的运动。春分点每年运动约50″。这就是所谓“岁自为岁，天自为天”。天文学家僧一行称之为“岁岁微差”，一般称为岁差。




因日月摄动引起的上述岁差，称为日月岁差。而同样由行星摄动引起的岁差称为行星岁差。行星岁差比日月岁差要小得多，在古代的观察精度水平上，不可能把这两种不同起因的影响区别开来，而实际观察到的则是日月岁差和行星岁差的综合效应。岁差的存在，对于地面上的观测者来说，至少表现出两种明显的效应。

其一是坐标原点(春分点)在黄道上移动而导致所有恒星的坐标值产生缓慢的变化。最明显的则是恒星黄经的变化，其变化的大小与这颗恒星的黄经黄纬无关。其黄经变化值与春分点位置变化值相等。而所有恒星的黄纬值则没有变化。至于恒星的赤经和赤纬都因为春分点位置变化在赤道上的投影分量而有相应的变化。

其二是春分点在黄道上移动，就意味着，如果以恒星为参考背景来考查地球公转周期时，将不同于以春分点为参考背景来考察地球公转周期。而后者是划分四季的基础。

古希腊天文学家和古代中国天文学家，他们就是分别注意了这两种不同的表象。古希腊天文学家由上述第一种现象导出了岁差，而古代中国天文学家则由第二种现象也导出了岁差。各自沿着不同的实践方式和不同的思维方法，发现了自然界的同一规律。

公元前 2 世纪，古希腊天文学家喜帕恰斯在编制一本含有 1 022 颗恒星的星表时，把他观测得到的恒星坐标与距其 150 年前的阿里斯提留斯和提莫恰斯测定的坐标值进行比较，发现恒星的黄经有变化。喜帕恰斯算出室女座 $\alpha$ 星的黄经增加了 $2^{\circ}$，经分析后，他认为所有恒星的黄经，在经过 150 年后，平均增加了 $1^{\circ}.5$，因此喜帕恰斯正确地判断，这是春分点后移造成的结果。按照当时的观测分析，他得出春分点每百年沿黄道西移 $1^{\circ}$，这就是世界上对岁差的首次发现。





在中国，比喜帕恰斯早两个世纪前的石申夫，在其《天文》八卷著作中也提供了至少有 121 颗恒星的坐标值，编成了后世称为《石氏星经》的世界上第一本恒星星表。虽然石氏星表所包括的恒星星数比喜帕恰斯要少得多，但是其观测精度并不逊于喜帕恰斯的星表。按理说，在石氏星经后两三个世纪，如果中国人再测一次恒星位置，也应该可以沿希腊人一样的途径发现岁差。有人曾经认为，这是因为中国古代天文学使用的是赤道坐标系，而不是像古希腊那样采用黄道坐标系，而岁差对黄道坐标值的影响要比对赤道坐标值的影响大些。换言之，就是恒星黄经对岁差的反应比恒星赤经对岁差的反应要敏锐些，因此认为中国天文学家是因其对坐标系的选择而错过了发现岁差的机会。我们认为这种说法缺乏说服力。因为岁差在恒星赤经上的影响是不均匀的。有的对恒星坐标的影响可能还大些，当然有时会小些，但是不能认为岁差在赤经上的影响就较难察觉。

我们认为造成这种发现滞后的原因，是与中国古代天文学的研究目的有关，中



国古代天文学与其他古老民族的天文学一样，星占学与它几乎是一对孪生姊妹，而中国的占星术的特点是把地面上的王朝结构、社会关系搬到天上，从而恒星的相对位置描述成为他们的主要研究内容。因此中国天文学家就比较重视恒星星录的工作，恒星目录是没有恒星坐标值的，司马迁的《史记·天官书》就是一个典型的范例。这种以皇权结构为中心的“天上人间”是为了具有中国占星术特征的“天人感应”的需要。因而对于给出恒星坐标值的恒星星表，在相当一段时期内似乎并没有那么重视。自石申夫之后大约经历了 11 个世纪，都没有组织大型的恒星方位的实测工作。这可以从一直到公元 7 世纪印度裔的中国天文学家瞿昙悉达的《开元占经》中仍然是大量转录 1 000 多年以前的石氏星经的恒星坐标值看到有力的证明。这种状况一直延伸到公元 8 世纪，唐代天文学家一行为了修订历法的需要，才再一次组织了有规模的恒星方位实测。在这次实测以前，晋代天文学家虞喜，已经从另一角度出发，发现了岁差。

## 二、虞喜发现岁差

虞喜是东晋时代的天文学家(281—356)。由于唐初著名的天文学家李淳风不相信岁差的存在，所以在李淳风撰写的晋隋两朝的天文志和律历志中，只字不提虞喜的发现，这就给我们研究虞喜发现岁差的详细过程带来了很大的困难。对于这个问题，何妙福①、李鉴澄②进行了系统的考证和研究。现在还留存的原始记录有两条，其一是著名天文学家一行在编制大衍历(728)时的原著《大衍历》有如下记载：

> 其七，日度仪日古历，日有常度，天周为岁终，固系星度有节气。其说似是而非，故久而益差。虞喜觉之，使天为天，岁为岁，乃立差以追其变。使五十年退一度。

其二是宋代天文学家周琮在编制明天历时(1064)在历议中记载为：

> 虞喜云尧时日短星昴，今二千七百年，乃东壁中，则知道每岁渐差之所致。

虽然李淳风(602—670)对虞喜的发现不感兴趣，但是早在南北朝时期的著名天文学家何承天和祖冲之在 443 年和 463 年就分别建立了观测岁差的方法，而祖冲之还首次把岁差改正引进到历法计算之中。

虞喜主要是根据中国历代对冬至点位置确定的记载而发现岁差的。因为中国




① 何妙福：《岁差在中国的发现及其分析》，《科技史文集》第一辑，上海科学技术出版社，1978 年。

② 李鉴澄：《岁差在我国的发现，测定和历代冬至日所在的考证》，《中国天文学史文集》第三集，1984 年。

古代历法特别重视朔日的确定，把冬至日与朔日重合的日子看成是确定历元的最佳日期(当然还有干支纪日的甲子日和朔的时刻在夜半等等综合条件)。这一个任务自然就要求历代天文学家不断测定冬至日，换言之要测定太阳在冬至点的日期。很显然冬至点在恒星背景上的位置变化与春分点的变化是一个完全等价的问题。

李鉴澄根据历代记录进行了统计，共有 29 次冬至点位置的记录，如果不计及完全无法考证实测年代的帝尧时期 2 次记录，那么从鲁昭公二十年(前 522)至元代至元丁丑年(1337)共 27 次记录，李鉴澄逐一进行了考订，可以认定其确切年代的有 22 次，共延续 1 800 余年。冬至点在恒星背景上的位置由“牵牛初度”逐渐向西移，经斗宿，至 1337 年即至元丁丑年冬至点移至“箕宿十度”。

在李鉴澄统计的 22 次记录中，有 10 次是在虞喜之前，说明虞喜有足够的观测资料做这样重要的发现。并根据昴中到东壁中的赤道宿度变化，推断 50 年差 1 度的岁差值。而根据现代的计算，黄经岁差在赤道上的投影，应该是 50 年差 0°.64。

虽然虞喜悟出了岁差的存在，由于没有足够精度的观测资料，他所确定的岁差值并不准确。不过喜帕恰斯也是如此，喜帕恰斯确定的黄道岁差值是每百年 1°，而相应的现代值是每百年 1°.4，所以喜帕恰斯的确定值同样也是不准确的，甚至比虞喜结果的准确度更差一些。我们现在已经没有足够的史料来考察虞喜的详细测算过程。但是我们可以根据李鉴澄的统计来考察一下当时确定冬至点的准确度(见表 9—1)。

**表 9—1　历代冬至点位置记录**

| 年代 | 历史记录 | 现代计算 | \|Δ\| | 记录来源 |
|---|---|---|---|---|
| 前 522 | 牵牛之初 | 牛 1.0 | 0.6 | 《汉书・律历志》 |
| 前 240 | 斗 | 斗 23.4 | | 《吕氏春秋》 |
| 前 104 | 牵牛初，建星 | 斗 21.3 | | 《汉书・续汉书・律历志》 |
| 前 104 | 斗 22 度 | 斗 21.3 | 0.4 | 《宋书・律历志》 |
| 前 104? | 斗 22 度无余分 | 斗 21.3 | 0.4 | 《尚书・考灵曜》 |
| 前 104 | 斗 22 度 | 斗 21.3 | 0.4 | 《宋书・律历志》 |
| 85 | 斗 22 度 | 斗 21.0 | 0 | 《续汉书・律历志》 |
| 237 | 斗 21 度少 | 斗 16.1 | 4.0 | 《晋书・律历志》 |
| 237 | 斗 17 度 | 斗 16.1 | 0.1 | 《晋书・律历志》 |
| 267 | 斗 17 度 | 斗 15.6 | 1.2 | 《晋书・律历志》 |
| 384 | 斗 17 度 | 斗 13.8 | 3.0 | 《三纪甲子元历》 |

续表

| 年代 | 历史记录 | 现代计算 | \|Δ\| | 记录来源 |
|---|---|---|---|---|
| 384 | 斗 13 度 | 斗 13.8 | 1.0 | 《宋书·律历志》 |
| 434 | 斗 13.5 度 | 斗 13.1 | 0.2 | 《宋书·律历志》 |
| 462 | 斗 11 度 | 斗 12.6 | 1.3 | 《宋书·律历志》 |
| 544 | 斗 12 度 | 斗 11.4 | 0.4 | 《元史·历志》 |
| 598 | 斗 12 度 | 斗 10.5 | 1.3 | 《元史·历志》 |
| 604 | 斗 11 度 | 斗 10.5 | 0.3 | 《新唐书·历志》 |
| 604 | 斗 10 度 | 斗 10.5 | 0.6 | 《新唐书·历志》 |
| 716 | 斗 10 度 | 斗 8.7 | 1.2 | 《新唐书·历志》 |
| 724 | 斗 9.5 度 | 斗 8.5 | 0.9 | 《元史·历志》 |
| 1133 | 斗 4 度 36 分 66 秒 | 斗 2.1 | 2.4 | 《金史·历志》 |
| 1133 | 斗 0 度 36 分 64 秒 | 斗 2.1 | 1.5 | 《元史·历志》 |
| 1337 | 箕 10 度 | 箕 9.2 | 0.7 | 《元史·历志》 |

注:本表除现代计算值为作者重新计算外,其余诸项均取自李鉴澄的论文。其中"度"表示中国古度,1 度＝0°.986。|Δ|表示记录值与计算值之差。

从上述表列的|Δ|值中,可以看出古代记录的准确度并不高,但是对于只用简单仪器的肉眼观测,这样的结果应该是难能可贵的。李鉴澄在其论文中也给出了一组|Δ|值,但本表没有引用,这是因为 20 世纪 80 年代发展了一种用直角坐标系计算恒星位置的新方法。其计划精度比过去用球面坐标系的级数展开法要精确许多,对于大时间间距的情况下更是如此,虽然李鉴澄在计算中非常谨慎地采用了级数的三次项,以期达到较高的精度,但是由于时间间距过长,级数收敛很慢,就是取更高次项也难达到预期的效果。利用现代的直角坐标方法,作者与刘次沅将肉眼可能见到的 9 000 颗恒星位置编成了计算机储存的星历表,使用此表得出了本表列出的现代计算值。因为现在这个计算,有效位数只取到 0°.1,所以与用级数展开方法的计算相比并无多大差异。如果做精确的计算,这两种方法是有差别的。为了研究中国古代天文的需要,作者在本书的附录中,推荐了某些特殊恒星 4 000 年来的位置,以供天文学史家使用方便。





## 三、冬至点的测定方法

中国古代天文学家得到这些宝贵的历史记录,导致了虞喜独立于喜帕恰斯而再次做了重大发现,这对于古代信息交流闭塞的情况下,是完全可以理解的。

中国古代的这些宝贵记录的获得，也是基于中国古代天文学独立创造的颇具特色的观测方法。这个方法的基本要点是《周髀算经》中所描述的晷影测量。众所周知，在冬至日晷影最长，夏至日晷影最短。《周髀算经》称：

周髀长八尺，夏至日晷长一尺六寸。……故冬至日晷丈三尺五寸，夏至日晷尺六寸。

这是翔实的观测记录，这种测量结果可以确定冬至日，这是中国古代历法工作中非常重要的任务。

冬至日的确定就可以知道冬至点在恒星背景上的位置，上表中“牵牛初度”，“在建星”，“箕十度”等等就是冬至点所在的恒星背景。冬至日的确定与春分点确定是等价的。

在具体实施测量中，中国人创造了中星法（分为昏旦中星和夜半中星两种）。后来又创造了金星偕日出没法，和日食冲法。虞喜只是基于昏旦中星法观测而发现了岁差。

《尚书·尧典》中一段著名的记载，就是昏旦中星法的确切描述：

日中星鸟，以殷仲春；日永星火，以正仲夏；宵中星虚，以殷仲秋；日短星昴，以正仲冬。

夜半中星法则是于子夜测定一组中星，然后推算离开半周天的恒星，就是太阳的位置。这种方法的优点是“夜半”的定义要比“昏”、“旦”的定义明确得多。《吕氏春秋》记录了12个月内的太阳在恒星背景上的位置。

孟春之月，日在营室，……
仲春之月，日在奎，……
季春之月，日在胃，……
孟夏之月，日在毕，……
仲夏之月，日在东井，……
季夏之月，日在柳，……
孟秋之月，日在翼，……
仲秋之月，日在角，……
季秋之月，日在房，……
孟冬之月，日在尾，……
仲冬之月，日在斗，……
季冬之月，日在婺女，……



关于夜半中星法，虞劆于公元543年给出了精度估计：

……然日之所在难知。验以中星，则漏刻不定。……今候夜半中星，



以求日冲，进于得密。而水有清浊，壶有增减，或积尘所拥，故漏有迟疾。臣等频夜候中星，而前后相差或至三度。大略冬至远不过十四度，近不出十度。

制约夜半中星法精度的关键是需准确的计时仪器，而这在中国古代似乎是一个弱点。创立三纪甲子元历的后秦天文学家姜岌利用月食的机会，精确测定月亮在恒星间的位置，从而推得月亮所冲的星宿，称之为月食冲法。《晋书·律历志》中写道：

景初斗分，虽在粗细之中，而日之所在乃差四度，日月亏损，皆不及其次。假使日在东井而食，以月验之，乃在参六度，差违乃尔。

元嘉二十年，何承天(370—447)曰：

臣以月蚀检之，则景初今之冬至，应在斗十七。

根据我们计算，何承天所得景初元年(237)的冬至点位置是在斗 16°.7，把何承天原文的古度换算成今度，则斗十七的结论仅仅只有 0°.1 的误差。可见月食冲法大大提高了观测精度。

宋代纪元历的作者姚舜辅(生卒不详，其工作活跃年代为 1102—1110 年)，创立了金星偕日出没法，从地球观察，金星与太阳的角距离可大到 48°。一般情况下，金星在日落后才下落，在日出前就升出来，其间可差 3 小时左右，这样在日出前或日落后有充裕的时间测定金星在恒星背景上的位置，再测定金星与太阳的角距。可以推算出冬至日太阳在恒星背景上的位置。元代王恂、郭守敬曾用 3 年的时间，测量月亮、金星、木星的位置，反复验证求得冬至点的位置，《元史·历志》对其做了描述和评价：

古人欲测躔度所在，必以昏旦夜半中星衡考其所距，从考其所当。然昏旦夜半时刻未易得真，时差一刻，所距所当不容无舛。晋姜岌以月蚀冲检知日度所在。纪元历复以太白志其相距远近，于昏后明前，验定星度，因得日躔。今用至元丁丑四月癸酉望月蚀既推求得冬至日躔赤道箕宿十度，黄道九度有奇。

在牛顿建立天体力学理论以前，岁差现象的本质从来没有人弄清过，因此也不可能进行系统的研究。人们所需要的仅仅是从历书天文的角度加以应用。有的历书天文学家袭用前人的采用值，有的历书天文学家则进行新的测定。从总体上说，人类对它的认识是向愈来愈准确的方向发展，但是有时也存在着反复。

在中国首先把岁差改正引进历书的是祖冲之，那是在虞喜发现岁差以后的一个半世纪。在公元 463 年编制大明历时，祖冲之“参以中星，课以蚀望”，求得当时的冬至点位置，然后“通而计之”，得到岁差值，并在大明历中进行了岁差改正。这




应该说对我国古代历书天文是一个重要事件。

## 四、历代对岁差的研究

关于中国古代的历书中如何采用岁差改正的问题。陈美东的文章①做了非常完整的研究。他给出了中国历代历法所使用的岁差改正的统计资料。该文表四为岁差和恒星年长度，列举了自虞喜以来至清代戴进贤为止，共42家的岁差研究结果。除虞喜、何承天、刘焯和裴胄之的研究结果以外，其他结果均和具体的历书联系在一起。继陈美东之后，曲安京在他的博士论文"中国古代历法岁差常数的选择与考证"②中又进一步进行深入的研究，并在严密的数理分析的基础上对若干历书的岁差改正值做了复原。曲安京在论文中给出了综合表，包括从大明历到授时历共41家历法的岁差改正采用值。

这两篇论文全面地概括了中国古代岁差改正的采用值。除两文互相重复的外，共包括53个岁差采用值。鉴于本书的任务只是从天文常数的角度来考察中国古代天文学的成就，不包括历书天文学的内容，作者不得不舍去两篇论文中关于历算的内容，而只采用了它们关于岁差值的结果，综合成下表，并以习惯的方法用"每度若干年"为单位表示。

**表9—2　历代岁差改正采用值**

| 序号 | 来源 | 年代 | 岁差值 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 陈美东 | 曲安京 |
| 1 | 虞喜 | (约)300 | 50 | |
| 2 | 何承天 | 443 | 100 | |
| 3 | 大明历 | 463 | 45.92 | 45.92 |
| 4 | 大同历 | 544 | 183 | 185.99 |
| 5 | 武平历 | 576 | | 47.43 |
| 6 | 皇极历 | 604 | 76.53 | 76.53 |
| 7 | 刘焯 | 604 | | |
| 8 | 大业历 | 608 | 84.77 | 84.77 |
| 9 | 戊寅历 | 619 | 55.51 | 55.51 |
| 10 | 乙巳元历 | 629 | | 103.08 |
| 11 | 神龙历 | 705 | 81.82 | 80.83 |
| 12 | 大衍历 | 728 | 82.72 | 82.72 |
| 13 | 大衍历议 | 728 | 76.48 | |
| 14 | 五纪历 | 762 | 91.16 | 91.16 |
| 15 | 正元历 | 784 | 91.10 | 91.10 |







① 见《科技史文集》，第10集，科学出版社，1983年。

② 曲安京：《中国古代数理天文学》，西北大学出版社，1994年。

续表

| 序号 | 来源 | 年代 | 岁差值 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 陈美东 | 曲安京 |
| 16 | 裴胄之 | 784 | 73.92 | |
| 17 | 宣明历 | 822 | 84.85 | 84.85 |
| 18 | 崇玄历 | 893 | 84.25 | 84.25 |
| 19 | 钦天历 | 956 | 85.31 | 85.31 |
| 20 | 应天历 | 960 | 84.62 | 84.63 |
| 21 | 乾元历 | 981 | 87.10 | 87.10 |
| 22 | 至道历 | 995 | | 86.10 |
| 23 | 王睿历 | 995 | | 86.43 |
| 24 | 仪天历 | 1001 | 84.86 | 84.88 |
| 25 | 乾兴历 | 1022 | | 84.68 |
| 26 | 崇天历 | 1024 | 84.71 | 84.71 |
| 27 | (崇天历) | 1024 | | 83.93 |
| 28 | 明天历 | 1064 | 77.57 | 77.57 |
| 29 | 奉元历 | 1074 | | 77.86 |
| 30 | 观天历 | 1092 | 77.83 | 77.83 |
| 31 | 占天历 | 1103 | | 77.74 |
| 32 | 纪元历 | 1106 | 73.48 | 73.48 |
| 33 | 大明历 | 1127 | | 75.84 |
| 34 | 统元历 | 1135 | 77.98 | 77.98 |
| 35 | 乾道历 | 1167 | 73.34 | 73.34 |
| 36 | 淳熙历 | 1176 | 73.48 | 73.48 |
| 37 | 重修大明历 | 1180 | 75.74 | 75.74 |
| 38 | 乙未元历 | 1180 | | 76.16 |
| 39 | 会元历 | 1191 | 73.70 | 73.70 |
| 40 | 统天历 | 1199 | 66.67 | 66.67 |
| 41 | 开禧历 | 1207 | 67.33 | 67.33 |
| 42 | 庚午元历 | 1216 | 75.82 | 75.82 |
| 43 | 淳祐历 | 1250 | | 67.83 |
| 44 | 会天历 | 1253 | | 67.57 |
| 45 | 成天历 | 1271 | 67.69 | 67.70 |
| 46 | 授时历 | 1281 | 66.67 | 66.67 |
| 47 | 大统历 | 1384 | 66.67 | |
| 48 | 万年历 | 1554 | 66.67 | |
| 49 | 黄钟历 | 1581 | 66.67 | |
| 50 | 晓庵历 | 1628 | 69.57 | |
| 51 | 新法 | 1628 | 70.59 | |
| 52 | 时宪历 | 1644 | 70.59 | |
| 53 | 癸卯历 | 1742 | 70.59 | |

现代天体测量学对于岁差的理论和实测均已达到完善的水平。为了评估中国古代天文学家在岁差常数的实测方面做出贡献的价值，就必然要把这些结果放在

现代岁差知识的背景下加以考察。

日月岁差和行星岁差固然起因不同，但总的效应是叠加的，人们所观察的是两种岁差的总和。两者综合起来的影响，造成春分点沿黄道逐渐西移，称之为黄经总岁差。根据现代天文学研究的成果，国际天文学会(IAU)的1976年新天文常数系统认定，对于公元2000年，黄经总岁差是每年50″290 966。这个常数相当于春分点在黄道上移动1°需要71.6年。或者移动一个中国古度相当于72.6年。在中国计算岁差采用的是冬至点的入宿度，而这种测定又依赖于所取距星的坐标值赤经和赤纬，根据我们按照所取距星推算，大约冬至点每移动一个中国古度约需65年。喜恰帕斯当初发现岁差就是发现了春分点在黄道上的移动，他得到的结果是移动1°需要100年，与现代此值的准确度相差38%，可见其误差相当大。一直到了10世纪，伊本·阿拉姆才求得了一个新的黄道岁差值为73.6年春分点移动1°，此值与现代值只相差7%。

在中国虞喜发现岁差时，确定冬至点每移动一个古度所需时间为50年，它与现代值比较相差为31%，比喜帕恰斯最初发现所确定数值好一些，也是误差太大。到了1064年周琮编制明天历时已经知道冬至点移动1古度所需时间为77.6年，其相差为7%，几乎与伊本·阿拉姆一个时代，所得到的准确度也几乎一致。

中国的岁差测定最宝贵之处在于从虞喜到郭守敬将近900多年内坚持了长期持续的测定。这在人类天文学史上是绝无仅有的事情，也是人类科学文化史中的一份十分值得珍惜的宝贵财富。

在陈美东的统计研究以后，曲安京又从其他史料中分析研究，恢复了一些散失了的岁差测定值，这两个研究结果使我们对中国古代岁差实测工作得以窥其全貌。曲安京用数学分析方法共修复了至道历、王睿历、乾兴历、奉元历、占天历、大明历(杨级)、乙未元历、淳祐历和会天历等几部历书的岁差值。



如果除掉袭用授时历的大统历、万年历和黄钟历(他们是非独立确定的岁差值)，并除掉受明清以后西学东渐影响的西方结果渗入的历书外，则我们的古代天文学家向世界上共贡献了46个岁差测定值，历时将近1 000年的持续工作。

虞喜发现岁差后，真正把这一改正引进到历书工作中的是祖冲之，据《宋书·律历志》称：

大明六年(462)……祖冲之上表曰……改易者……其二，以尧典云："日短星昴，以正仲冬"。由此推之，唐代冬至日在今宿之左五十许度。汉代之初，即用秦历，冬至日在牵牛六度。汉武改立太初历，冬至日在牛初。后汉四分历，冬至日在斗二十一。晋时姜岌以月蚀检日，知冬至在斗十七。今参以中星，课以蚀望，冬至之日在斗十一。通而计之，未盈百载，所




差二度。

从祖冲之大明历到一行的大衍历共有8部历书使用了岁差改正，他们所取值在每度45.87～185.9年，其波动幅度特别大，充分说明那时候的岁差测定精度不高。其实除测定精度不高外，对于这一类观测资料去粗取精的分析水平也不够。还有一个非常重要的认识因素，不知道出于什么原因，当时人为地规定，在归算岁差改正值时恒星年长度只能取整数，这就大大地约制了岁差的分析工作。尽管精确度不够，但是毕竟祖冲之首先在历法中使用岁差，是全世界天文学史上的第一人，这件事的本身具有划时代的意义。

从一行编制大衍历起一直到郭守敬的授时历为止，是中国人在岁差研究和测定中的非常辉煌的时期，而且也是在世界上领先的时期。在大衍历以后，打破了周天数只能取整数的人为约束，而取到两位小数，这样就使得误差大为减少。在这个时期内，曲安京指出了有创新价值的工作是：

一行的大衍历(724)统一了岁差分析的取值标准。并测定了开元赤道的宿度。

周琮的明天历(1064)调整了大衍历的回归年长度。并测定了皇祐赤道的宿度。

姚舜辅的纪元历(1106)调整了大衍历周天度的长度，并测定了崇宁赤道的宿度。

杨级的大明历(1127)取大衍历与纪元历的周天度平均值，回归年则与明天历相同。

杨忠辅的统天历(1199)制定了岁实消长法，调整纪元历回归年与周天度的长度。

郭守敬的授时历(1280)测定至元赤道宿度。




最后正如何妙福所指出，在岁差的概念上，古代中国人和古代希腊人的认识都有各自的误区，而中国天文学家刘焯在这个问题上却有特殊贡献。

我们现在已经很清楚，岁差的实质是春分点在黄道上的移动。而古代中国人在长期以来却认为是黄道沿着赤道“滑动”所造成的。中国古代一篇著名的著作《大衍历议》讲：“所谓岁差者，日与黄道俱差也。”“黄道不迁，日行不退，又安得谓之岁差乎？”所以刘焯的皇极历(604)以前，实际上只推冬至赤道日度，其中计入岁差影响。刘焯纠正了这个概念在编制皇极历时开始推冬至的黄道日度，刘焯指出：“积度以黄道起于虚……”并在黄道上计入岁差影响。所以《大衍历议》说：“又皇极历岁差皆自黄道命之。”可惜的是后来的大衍历作者一行没有接受刘焯的正确概念，还是推算赤道日度为基础，而这个错误的概念，一直影响到元代的授时历和大统历。可以说在中国，关于岁差研究的辉煌时期一直非常遗憾地存在这个错误的

概念。不过幸运的是，这种概念错误所导致的岁差常数改正非常小，在古代的实测中无法觉察，所以在实践工作中没有带来多大的影响。

有趣的是，西方天文学家却反而认为岁差是赤道沿黄道西滑，用诸星沿黄道东进来解释岁差，这个概念也是错误的。

东方古代和西方古代的两种不同但又都不正确的概念长达 2 000 年，一直到牛顿的万有引力理论建立以后，才得到正确的认识。

对于任何一个民族，在认识大自然规律时都出现这样那样的错误。当后人发现这种错误应该科学地指出，更不必为古人讳言。这是人类在不断进步的历史长河中向前迈进的表现，丝毫不会影响古人在那个时代的主流和光辉灿烂的贡献。更何况在中国，曾经一度出现过独具慧眼的天文学家刘焯。因此刘焯在岁差研究上的贡献功不可没。

## 第二节　地球公转周期与月球公转周期

### 一、回归年与朔望月

地球绕太阳公转周期和月球绕地球公转周期本来是两个完全相互独立的物理量。因为它们完全具有各自独立的物理背景，所以就天文常数而言应该可以分别进行研究和讨论。在哥白尼日心学说建立以前，人们并不清楚这两种运动的简单几何图像，从而也不可能像现在一样去寻求这两个简单的周期值。

人类所能够认识的只是由于这两种运动所导致的天象视变化，如太阳视运动，月球视运动等等，人们也只能根据这种天象视变化去寻找它们的规律。加之在研究天象视变化时，没有绝对静止的参考标志，于是在研究这两个周期运动的周期值时，使问题变得稍微复杂些。事实上，人们并不能直接得到这两个周期值，而得到的却是与它们有关联的两组天文常数。



对于地球公转运动有关联的是回归年长度(中国古代称为岁实)、恒星年长度、食年长度和近点年长度共 4 个天文常数。

对于月球公转运动有关联的是朔望月长度(中国古代称为朔策)、恒星月长度、近月点长度、交点月长度和回归月长度，共 5 个天文常数。

近代西方天文学引入中国以前，近点年和回归月在中国古代没有认识，也没有研究过。而其他 7 个天文常数都出于不同的需要，从不同的角度进行过研究和测定，而且在某些时期曾达到世界领先水平。驱动这些研究的兴趣主要是为了历书天文的需要，而中国历代王朝把“定正朔”看成是国家大事，因而这些常数的研究方



法，必然有深刻的编历需要的痕迹。

中国古代曾经产生过90余部历书，几乎都是阴阳合历。这就表现为既有反映回归年长度的二十四节气，又有反映朔望月长度的朔与望的日期，天文学家在编制历书时必须选用回归年长度和朔望月长度两个天文常数，而且要通过人为的调节手段——置闰，把不为整数倍的两个常数协调起来，而使人们使用历书时感到和谐。当然这种和谐只能是近似的。以至于我们来研究中国古代这两个天文常数时无法把它们截然分开。

除确定历日以外，日月食观察与预报也是广义的编历内容。日月食在星占学中曾经被认为是上天示警，需要"主上修德"来避免或推迟。羲和两位天文学家被杀的故事虽无信史可考，但能流传下来，则从侧面反映出日月交食的预报是如何受到统治者的高度重视。因此在没有弄清日月交食的原理之前，用经验寻求某种日月食的周期则是重要的预报方法，从而客观上进行了交点年和交点月长度这两个天文常数的测定，同样也是编历的需要。自祖冲之以后在历法中开始加入了岁差的改正，从而推动了恒星年长度的确定工作。对于月亮位置的确定，以及日食月食的观测，就使得恒星月和近点月长度的确定成为可能。因此我们现在来考察中国古代天文学家在这7个天文常数的研究和确定时，必须沿着他们前进的轨迹来讨论它们。

朔望月长度测定无疑是古代天文学家最早也是最容易做的事情。因为月相的变化对于地面上的观察者显而易见。早在殷商时期就有大月和小月相间的安排，大月包含30天，小月包含29天，这就是说在3 000多年以前中国天文学家已经确定了朔望月长度为29.5日。根据董作宾《殷历谱》的研究，在殷商时代，实际上已经确定朔望月的长度为29.53日。



根据美国天文学家纽康(S. Newcomb)的研究[1]，对于1900年，朔望月长度的精确值为29.530 588 67日，而且每年还有0.000 000 001 9的微小增长。显然在3 000多年前中国古代天文学家得到朔望月长度29.53日这一近似值是非常漂亮的，只有0.009 4日的误差，无疑这是当时具有世界水平的确定值。

从甲骨文记载中，同样可以看出在殷商时代已经有每年12个月或13个月的记载。这说明殷商时代已经产生了调节太阳历和太阴历的置闰方法，从而不需要实测回归年长度也可以在已知朔望月长度的前提下，通过置闰导出回归年长度。当然也可以通过圭表测日影长度确定冬至日从而直接确定回归年长度。据《尚书·尧典》称"期三百有六旬有六日，以闰月定四时成岁"，这是我国最早的回归年长度值。



① 《中国天文年历·天文常数》(每年一册)。

同样也根据纽康的研究，对于1900年，回归年长度值为365.242 198 78日。它的年减少率(对于向后推移则是增长)是每年0.000 000 061 4日，这一减少率对于3 000多年前也不宜于简单引用。尽管如此中国古代的第一次确定回归年长度也只有0.76日的误差。

中国古代进一步精确的回归年长度值是$365\frac{1}{4}$，即365.25日，这可以从中国古六历的应用中得到证明。而且秦汉以后史书记载颇详。例如祖冲之历议称："古之六术，并同四分"。《后汉书・律历志》称：

> 日发其端，周而为岁，然其景不复，四周千四百六十一日而景复初，是则日行之终。以周除日得三百六十五度四分度之一，为岁之日数，日行一度。

在《左传》中有两段实测记录。其一是鲁僖公五年(前655)"春王正月辛亥朔，日南至"。其二是鲁昭公二十年(前522)"春王二月乙丑，日南至"。两次记录相隔133年。经过计算，可以得出每一回归年长为$365\frac{33}{133}$日，近似于$365\frac{33}{132}=365\frac{1}{4}$，这对于当时观测误差范围讲是完全可能的。因此应该认为在公元前5世纪我国已掌握了19年7闰的规律①，如果按照这个闰周我们完全可以导出，朔望月长度为$29\frac{499}{940}$日即29.530 851日。而《史记》的"历术甲子篇"关于大余小余的排列，也证实了这一数值。

西汉太初改历，曾经在确定回归年长度和朔望月长度上走了一点弯路。根据《汉书・律历志》记载：



> 侍郎尊及民间治历者凡二十余人，方士唐都，巴郡落下闳与焉。都分天部而闳运算转历，其法从律起历曰，律容一龠积八十一寸，则一日之分也，与长相终，律长九寸百七十一分而终复而复得甲子，夫律阴阳九六爻象所从出也，故黄钟纪元气之谓律，律法也，莫不取法焉与邓平所治同。于是皆观新星度日月行更以算推如闳平法，法一月之日二十九日八十一分日之四十三……邓平所造八十一分律历，罢废尤疏远者十七家……陵渠奏状遂用邓平历。

很显然太初历制定者邓平确定的朔望月长度$29\frac{43}{81}$，即29.530 864此值反而离标准值更远，以邓平值，采用19年7闰法，可以推得回归年长度为365.250 2，比

① 陈遵妫:《中国天文学史》，上海科学技术出版社，1984年，第1381页。

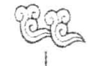


四分法离标准值也更远，换言之在确定回归年和朔望月长度上产生了倒退现象。

关于这个现象，现代学者有两种不太相同的看法。一种认为这一组值是实测而来的，在当时立圭测影的观测中，本来就很粗疏，自然实测结果的精度不稳定，这种倒退是完全可能的。另一种认为以律起历，假托黄钟，以黄钟初九自乘，就必须守住 81 这个极值不放，这样就必然导出这个结果。而且以律起历，增加了编历的神秘感，这是指导思想不科学而导致的结果。我们认为这两种原因可能同时存在，但前一种实测不准应该是基本原因。

东汉末年刘洪(129—210)“考史官自古迄今历注，原其进退之行，察其出入之验，视其往来，度其终始，始悟四分于天疏阔，皆斗分太多之故也。”这样根据斗分太多的结论，刘洪提出了要减少四分历中的回归年长度和朔望月长度的新思想，使这两个常数的确定向前推进了一大步。刘洪得出朔望月长度为 $29\frac{773}{1457}$ 日，即 29.530 542 2日，同样可以根据闰周推出回归年为 $365\frac{145}{589}$ 日，即 365.246 2 日。刘洪的贡献具有开创性。

公元 412 年左右，赵歐提出了改进 19 年 7 闰的置闰方法。因为人们通过实测，一方面发现了节气后天的现象，即回归年长度仍然偏大，另一方面朔望月长度实测值令人们十分相信，于是就不大可能以减小朔望月长度的方法来达到减小回归年长度的目的。因而赵歐颇有见解地认为问题出在置闰方法。《新唐书·历志》指出：“玄始历以为十九年七闰皆有余分，是以中气渐差。”于是在元始历中废弃 19 年 7 闰，改为 600 年 221 闰的新置闰方法。从而得出回归年长度为 365.244 306 日，朔望月长度为 29.530 600 日。其精确度都有了很好的改进。

继赵歐之后，祖冲之对于回归年长度的确定进一步做了重大的推进，他首先引用了刘洪实测并载于东汉四分历中关于立冬和立冬的晷影长度记录，并指出该历冬至后天“二日十二刻”进而推算出汉灵帝熹平二年冬至为十一月乙亥夜半后三十八刻，然后通过冬至前后影长推得宋文帝大明五年的冬至时刻为十一月三日夜半后三十一刻。这两个记录相减，即公元 461 年 12 月 30 日 31 刻减去公元 173 年 12 月 22 日 38 刻并除以 228 年，则根据陈美东的计算得到回归年长度为 365.242 812 5日[①]。祖冲之指出：

> 以旧法一章十九岁有七闰，闰数为多经二百年辄差一日，节闰既移则应改法，历纪屡迁实由此条。今改章法三百九十一年有一百四十四闰，

① 陈美东:《论我国古代年月长度的测定(上)》,《科技史文集》第 10 辑，科学出版社，1983 年。

令却合周汉，则将来永远无复差动。[①]

有了回归年长度，有了置闰方法则可以导出朔望月长度，祖冲之并没有单向推导。因为在他的时代朔望月长度已经有了相当准确的实测结果，显然祖冲之经历了一个比较反复修订过程得到了回归年长度为 365.242 814 8，朔望月长度为 29.530 591 6日，这两个常数采用值与现代准确值相比，分别仅仅相差 53 秒和 0.3 秒，在 5 世纪能得到如此精确的结果，实在是毫无愧色的世界领先水平。

遗憾的是祖冲之的结果长期没有得到人们的理解与接受，以至于在他以后大约 700 年，历法家所采用的这两个常数值，往往与准确值相差仍为 100 秒至 200 秒之间，徘徊不前。

宋元两朝，圭影测量的技术与方法都有相当的改进，从而测量的精度有较大的提高，这样就可能直接确定冬至，然后算出回归年的长度。南宋杨忠辅（生卒年不详，科学活动主要在 1174—1207 年）在研究了大量实测资料以后得出了一个非常珍贵的科学思想，他提出回归年长度不是常量，而是随时间有缓慢的变化。中国近代天文学家朱文鑫对于这一科学思想做了如下评价："杨忠辅始立斗分差，晤岁实有消长……为（鲍）干之等所攻。然忠辅创造之功，已非宋人所能及。郭守敬师法忠辅，授时暗用统天，其岁余与统天同。"杨忠辅的岁实消长的思想 700 年后才为美国天文学家纽康的发现所证实，并为世界所接受，所以对杨忠辅的发现应给予高度评价。当然杨忠辅立足于中国古代不准确的测量数据之上，所以在具体求回归年长度变化率时比纽康的数值要大 30 倍。对于古人来说这也是应该理解的。杨忠辅变化率后来为明朝一位郡王世子朱载堉做了改进。

郭守敬在编制授时历过程中，对于这两个天文常数的确定也做了重大的推进。郭守敬实测了元世祖至元十五年冬至前后 10 日、16 日、17 日、21 日、150 日、178 日的晷影，推算出该年冬至时刻为十一月戊申日未初三刻，并实用古代宋文帝大明六年测影验气得冬至时刻的真数的历史记录，根据类似祖冲之的方法求得回归年的长度。而通过日月交食的观测或者通过先取闰周再推算，可以求得朔望月长度。在郭守敬的授时历中回归年长度为 365.242 5 日，朔望月长度为 29.530 530。这两个常数采用值与现代准确值相差分别为 26 秒和 0.4 秒。

在授时历以后，值得提出的是邢云路（生卒年不详，科学活动在 16 世纪 80 年代和 17 世纪 20 年代）。他在陕西省按察使任内，在兰州建立了历史上最高的木制圭表，并测量日影，重新实测后得出一回归年长度为 365.242 190 日，这是一次非常漂亮的实测结果，与现代值只差 2.3 秒。这当然是 17 世纪的世界先进水平。由



① 《宋书·历志》。



于邢云路没有具体编历，所以他没有给出朔望月长度。

回归年长度和朔望月长度这两个天文常数的确定，在中华民族的科学史上留下了一页又一页的辉煌成就。陈美东对于年月长度做了非常完善的研究，现摘引其有关数据列表 9－3：

**表 9—3　历代回归年和朔望月长度采用值**

| 作者 | 来源 | 年代 | 回归年长度(日) | 朔望月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| | 古四分历 | 前 5 世纪 | 365.250 0 | 29.530 851 |
| 邓　平 | 太初历 | 前 104 | 365.250 2 | 29.530 864 |
| 编　䜣 | 四分历 | 85 | 365.250 0 | 29.530 851 |
| 刘　洪 | 乾象历 | 206 | 365.246 2 | 29.530 542 |
| 韩　翊 | 黄初历 | 220 | 365.246 8 | 29.530 590 |
| 高堂隆 | 太和历 | 227 | 365.246 9 | 29.530 598 |
| 杨　伟 | 景初历 | 237 | 365.246 9 | 29.530 599 |
| 王朔之 | 永和历 | 352 | 365.246 8 | 29.530 590 |
| 刘　智 | 太始历 | 365 | 365.246 7 | 29.530 582 |
| 姜　岌 | 甲子元历 | 384 | 365.246 8 | 29.530 595 |
| 赵　𢾺 | 元始历 | 412 | 365.244 3 | 29.530 600 |
| 何承天 | 元嘉历 | 443 | 365.246 7 | 29.530 585 |
| 祖冲之 | 大明历 | 463 | 365.242 8 | 29.530 595 |
| 张龙祥 | 正光历 | 521 | 365.243 7 | 29.530 593 |
| 李业兴 | 兴和历 | 540 | 365.244 2 | 29.530 605 |
| 虞　劚 | 大同历 | 544 | 365.244 4 | |
| 李业兴 | 九宫历 | 547 | 365.244 3 | 29.530 640 |
| 宋景业 | 天保历 | 550 | 365.244 6 | 29.530 600 |
| 甄　莺 | 天和历 | 566 | 365.244 3 | 29.530 711 |
| 刘孝孙 | 武平历 | 576 | 365.244 3 | 29.530 594 |
| 董　峻 | 甲寅历 | 576 | 365.244 5 | 29.530 595 |
| 张孟宾 | 孟宾历 | 576 | 365.244 3 | 29.530 591 |
| 马　显 | 大象历 | 579 | 365.243 8 | 29.530 628 |
| 张　宾 | 开皇历 | 584 | 365.243 4 | 29.530 612 |
| 刘　焯 | 皇极历 | 604 | 365.244 5 | 29.530 596 |
| 张胄玄 | 大业历 | 608 | 365.243 0 | 29.530 594 |
| 傅仁均 | 戊寅历 | 619 | 365.244 6 | 29.530 601 |
| 瞿昙悉达 | 九执历 | 657 | 365.246 7 | 29.530 583 |
| 李淳风 | 麟德历 | 665 | 365.244 8 | 29.530 597 |
| 南宫说 | 神龙历 | 705 | 365.244 8 | 29.530 6 |
| 一　行 | 大衍历 | 723 | 365.244 4 | 29.530 592 |
| 郭献之 | 五纪历 | 762 | 365.244 8 | 29.530 597 |
| 徐承嗣 | 正元历 | 784 | 365.244 7 | 29.530 594 |





续表

| 作者 | 来源 | 年代 | 回归年长度(日) | 朔望月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| 徐　昂 | 宣明历 | 822 | 365.244 6 | 29.530 595 |
| 边　冈 | 崇玄历 | 893 | 365.244 5 | 29.530 593 |
| 王　朴 | 钦天历 | 956 | 365.244 5 | 29.530 594 |
| 王处讷 | 应天历 | 960 | 365.244 5 | 29.530 594 |
| 吴昭素 | 乾元历 | 981 | 365.244 9 | 29.530 612 |
| 王　睿 | 至道历 | 995 | | 29.530 595 |
| 史　序 | 仪天历 | 1001 | 365.244 6 | 29.530 594 |
| 张　奎 | 乾兴历 | 1022 | 365.244 8 | 29.530 500 |
| 宋行古 | 崇天历 | 1024 | 365.244 6 | 29.530 595 |
| 周　琮 | 明天历 | 1064 | 365.243 6 | 29.530 590 |
| 卫　朴 | 奉元历 | 1074 | 365.243 6 | 29.530 591 |
| 皇居卿 | 观天历 | 1092 | 365.243 6 | 29.530 590 |
| 姚舜辅 | 占天历 | 1103 | 365.243 6 | 29.530 591 |
| 姚舜辅 | 纪元历 | 1106 | 365.243 6 | 29.530 590 |
| 杨　级 | 重修大明历 | 1127 | 365.243 6 | 29.530 593 |
| 陈得一 | 统元历 | 1135 | 365.243 6 | 29.530 592 |
| 刘孝荣 | 乾道历 | 1167 | 365.243 6 | 29.530 592 |
| 刘孝荣 | 淳熙历 | 1176 | 365.243 6 | 29.530 596 |
| 耶律履 | 乙未历 | 1180 | 365.243 1 | 29.530 595 |
| 赵知微 | 重修大明历 | 1180 | 365.243 6 | 29.530 593 |
| 石　万 | 五星再聚历 | 1187 | 365.244 5 | 29.530 593 |
| 刘孝荣 | 会元历 | 1191 | 365.243 7 | 29.530 594 |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 365.242 5 | 29.530 667 |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | 365.243 1 | 29.530 592 |
| 耶律楚材 | 庚午历 | 1216 | 365.243 6 | 29.530 593 |
| 李德卿 | 淳　历 | 1250 | 365.242 8 | 29.530 595 |
| 谭　玉 | 会天历 | 1252 | 365.242 9 | 29.530 595 |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1276 | 365.242 7 | 29.530 593 |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | 365.242 5 | 29.530 593 |
| 吴伯宗 | 回回历 | 1382 | 365.242 2 | 29.530 556 |
| 元　统 | 大统历 | 1384 | 365.242 5 | 29.530 593 |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | 365.242 0 | 29.530 593 |
| 朱载堉 | 黄钟历 | 1581 | 365.242 0 | 29.530 593 |
| 邢云路 | | 1608 | 365.242 2 | |
| 王锡阐 | 晓庵历 | 1628 | 365.242 2 | 29.530 592 |
| 徐光启 | 新法历 | 1626 | 365.242 2 | 29.530 593 |
| 汤若望 | 时宪历 | 1644 | 365.242 2 | 29.530 593 |
| 戴进贤 | 癸卯历 | 1742 | 365.242 3 | 29.530 591 |







## 二、交点年与交点月

日月交食的预报与观察，正如颁布历书确定正朔一样，在中国古代受到皇室的高度重视。广义地说，日月食的预报也是历书颁布的一个重要内容，而且它的观察还是检验历日的一种权威手段，即所说历法有疏漏，常常需要借助于观察日食和月食来检验。从另一方面看，由于君权神授是稳定政权的“理论”依据，日月交食的发生往往被解释为上天对人间帝王不满的表示，特别是“当食而不食”和“不当食而食”都会使人间帝王感到诧异。前者认为是特殊的祥瑞，后者则认为特别的凶兆。因此星占学家对这一特殊天象也表现了浓厚的兴趣。

在太阳系结构(包含地月系结构)模型还没有准确建立起来的古代，要像现代天文学家这样准确地预报日月交食是不可能的。但是由于月球绕地球运动毕竟是两个周期运动。日月地三者之间的交会必然有某种周期性规律，如果积累这种周期性规律并加以应用，则完全可以做出日月食的近似预报。中国和西方的古代天文学家也都是这样做的。因此对于他们来说研究日月食发生的周期规律就成了十分重要的任务。

日月食的发生，必须在黄道与白道的交点附近。因为只有在这样的狭窄区域，3 个天体才有可能排列在一条直线上。

太阳连续两次经过黄道与白道的同一交点所经历的时间间距，叫作交点年，又称为食年。

月亮连续两次经过黄道与白道的同一交点所经历的时间间距叫作交点月。

同一个交点的限定是必需的，因为黄道面与白道面相交应该有两个交点，一个称为升交点，另一个称为降交点。

由于太阳对于地月系内月球的摄动，黄道与白道的交点在黄道上每年约西移 19°，所以交点月长度比朔望月长度要短，交点年的长度比回归年的长度要短。交点月和交点年的长度是以黄白交点移动为背景的两个天文常数。根据现代测定，对于 2000 年有：

1 个交点年＝346.620 030 9 日

1 个交点月＝27.212 220 9 日

既然日月交食发生的必要条件是：① 必须发生在朔(日食)和望(月食)；② 必须发生在交点附近，那么日月交食周期 $S$ 实际上既等于朔望月的整倍数又等于交点月的整倍数，即：

$$S=mA=nB$$

因此，日月交食周期的确定与交点月长度的确定是等价的问题(假定朔望月长度已知)。

中国古代第一个提出交点月概念并明确黄白交点西移现象的是刘洪(129—210)。在刘洪编算乾象历时给出了他的计算方法。根据陈美东的研究,刘洪实际上提出了交点月长度的计算公式是在一个交食周期内:

交点月长度=朔望月个数×朔望月长度/交点月个数

但是刘洪并没有实际进行计算,而陈美东则对乾象历、景初历、三纪甲子历、元嘉历和武平历按上式进行了验算,证明确实采用刘洪公式。

祖冲之在大明历中第一次给出了交点月长度值,但没有指明计算方法。陈美东还对开皇历、大衍历、纪元历、会元历、仪天历、统天历等等进行计算,又发现与上述公式略呈差异。

陈美东的研究,理清了中国古代天文学家在制定历书时所给出交点月长度的主要思路,证明了他们的科学概念。由于具体的历书并没有严格地指出数据来源及其推求方法,要把每一部历书按现代简捷的方法进行复原也许有困难,但是我们将从下列的一份综合表中看出中国古代对交点月长度这个天文常数的确定是非常精确的。

陈美东在同一论文里总结了各家历法关于交点年长度的公式是:

交点年长度=朔望月个数×朔望月长度/交点年个数;

或

交点年长度=交点月个数×交点月长度/交点年个数

这就更明确表达了交点年长度与交食周期的密切关系。根据《续汉书·律历志》的记载:

率二十三食而复既,其月百三十五,率之相除,得五月二十三之二十而一食。





以及陈美东验算了皇极历中的交点年半长度值都得到了肯定的结论。

交点年长度和交点月长度都和日月交食周期密切联系,中国古代关于日月交食的周期的发现有13种,说明对于这两个天文常数能得到如此精确的结果绝不是偶然的。

表9—4给出了陈美东综合中国古代关于交点年长度和交点月长度的值。

**表9—4　历代交点年长度和交点月长度采用值**

| 作　者 | 历　书 | 年　代 | 交点年长度(日) | 交点月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| 邓　平 | 太初历 | 前104 | 346.666 7 | |
| 编　䜣 | 四分历 | 85 | 346.666 5 | |
| 王　充 | | | 346.932 8 | |
| 王　汉 | | 179 | 346.535 5 | |
| 冯　恂 | | 180 | 346.626 4 | |
| 刘　洪 | 乾象历 | 206 | 346.615 1 | 27.212 151 |



续表

| 作　者 | 历　书 | 年　代 | 交点年长度(日) | 交点月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| 杨　伟 | 景初历 | 237 | 346.615 5 | 27.212 201 |
| 姜　岌 | 甲子元历 | 384 | 346.615 8 | 27.212 199 |
| 赵　敺 | 元始历 | 412 | 346.622 5 | |
| 何承天 | 元嘉历 | 443 | 346.615 2 | 27.212 188 |
| 祖冲之 | 大明历 | 463 | | 27.212 230 |
| 张龙祥 | 正光历 | 521 | 346.619 3 | |
| 李业兴 | 兴和历 | 540 | 346.643 7 | |
| 宋景业 | 天保历 | 550 | 346.622 3 | |
| 甄　莺 | 天和历 | 566 | 346.644 6 | |
| 刘孝孙 | 武平历 | 576 | 346.618 6 | 27.212 216 |
| 马　显 | 大象历 | 579 | 346.620 5 | |
| 张　宾 | 开皇历 | 584 | 346.617 2 | 27.212 232 |
| 刘　焯 | 皇极历 | 604 | 346.619 3 | 27.212 222 |
| 张胄玄 | 大业历 | 608 | | 27.212 260 |
| 傅仁均 | 戊寅历 | 619 | | 27.212 239 |
| 瞿昙悉达 | 九执历 | 657 | | 27.216 229 |
| 李淳风 | 麟德历 | 665 | | 27.212 221 |
| 南宫说 | 神龙历 | 705 | | 27.212 216 |
| 一　行 | 大衍历 | 723 | 346.618 6 | 27.212 214 |
| 郭献之 | 五纪历 | 762 | 346.621 2 | 27.212 221 |
| 徐承嗣 | 正元历 | 784 | 346.621 2 | 27.212 221 |
| 徐　昂 | 宣明历 | 822 | 346.619 0 | 27.212 220 |
| 边　冈 | 崇玄历 | 893 | 346.619 5 | 27.212 219 |
| 王　朴 | 钦天历 | 956 | | 27.212 219 |
| 吴昭素 | 乾元历 | 981 | | 27.212 226 |
| 史　序 | 仪天历 | 1001 | 346.502 0 | 27.212 200 |
| 宋行古 | 崇天历 | 1024 | 346.618 1 | 27.212 222 |
| 皇居卿 | 观天历 | 1092 | 346.621 2 | 27.212 236 |
| 姚舜辅 | 纪元历 | 1092 | 346.619 9 | 27.212 221 |
| 陈得一 | 统元历 | 1135 | 346.631 8 | 27.212 214 |
| 刘孝荣 | 乾道历 | 1167 | 346.615 7 | 27.212 220 |
| 刘孝荣 | 淳熙历 | 1176 | 346.621 3 | 27.212 226 |
| 赵知微 | 重修大明历 | 1180 | | 27.212 225 |
| 刘孝荣 | 会元历 | 1191 | 346.620 4 | 27.212 228 |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 346.598 1 | 27.212 250 |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | | 27.212 218 |
| 耶律楚材 | 庚午历 | 1216 | | 27.212 224 |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1276 | | 27.212 224 |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | | 27.212 224 |
| 元　统 | 大统历 | 1384 | | 27.212 224 |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | | 27.212 224 |
| 朱载堉 | 黄钟历 | 1581 | | 27.212 224 |
| 王锡阐 | 晓庵历 | 1628 | | 27.212 220 |
| 徐光启 | 新法历 | 1626 | | 27.212 221 |
| 汤若望 | 时宪历 | 1644 | | 27.212 221 |
| 戴进贤 | 癸卯历 | 1742 | | 27.212 220 |





## 三、恒星年与恒星月

在中国历代所颁定的历书中还包含有恒星年和恒星月这两个天文常数的信息。

因为恒星年长度实质上是以恒星为参考背景的地球公转周期，它与回归年长度之间的差就是岁差改正。这三个常数只要确定两个，另一个则很容易导出。在本章的第一部分已经详细叙述了中国古代岁差的测定，在这一部分也详细地叙述了回归年长度的测定，所以在这里对于恒星年的问题不再赘述。但需要指出的是按照现代的概念，恒星年长度与回归年长度之差应是黄经岁差改正，而中国古代采用的是赤道岁差改正。所以在中国的历代历书中实际上给出的是准恒星年长度。好在赤道岁差和黄道岁差之间能够精确地换算，所以就确定这一天文常数的能力应该是一样的，如有必要则容易列出恒星年长度值。

恒星月的长度在中国古代是与月亮的一日平行度概念联系在一起的。《淮南子·天文训》指出："日行一度，月行十三度又九分之七。"这句记载，等价于《后汉书·律历志》的"日行十九周，月行二百五十四周。"

显然周天度除以月平行度即得到恒星月的长度。现代天文学长度对于 2000 年是 27.321 661 39。

陈美东概括了中国古代历法的计算方法得出：

$$一日的月亮平行度=\left(\frac{恒星年长度}{朔望月长度}+1\right)度$$



并以祖冲之的大明历数据进行了验算。如果考虑到一日的月亮平行度以恒星年度除则可得各个历法的恒星月长度 即：

$$恒星月长度=\frac{恒星年长度\times朔望月长度}{恒星年长度+朔望月长度}$$

显然在我国古代历书中，恒星月是一个导出常数。公元 608 年，张胄玄的大业历以后，绝大多数历书所得出的恒星月长度与现代精确值相比，其误差小于 1 秒钟，应该说达到了很高的水平。

月球在绕地球公转时是沿椭圆轨道，因此月球视运动是不均匀的，由于公转周期短，这种不均匀很容易被观察到，早在战国时期就有人觉察了这一天象，只是没有给出正确的解释。东汉初年黄道仪的发明，才最终证明了月球运动不均匀的存在。并且发现了有运行速度最快的地方，称为"疾处"，这实际上就是月球公转轨道的近地点。并且发现"疾处"有变化，当然这实际上就是近地点的移动。

公元 92 年，贾逵指出：



今史官推合朔、弦、望、月食加时，率多不中，在于不知月行迟疾意……月行当有迟疾，乃由所行道有远近出入所生，率一月移故所疾处三度，九岁九道一复。

贾逵在这里用最后两句话描绘了李梵的苏统得出的近点移动的数量。根据近点移动量自然可以得到近点月的长度。

但是陈美东发现"率一月移故所疾处三度"则近点月长度应该是 27.546 259 9 日，而"九岁九道一复"则根据钱宝琮的研究相应的近点月长度则为 27.550 838 1 日。就是说同一个作者贾逵给出了两个互相矛盾的天文常数值。

而现代精确的近点月长度，对于 2000 年则是 27.554 550 95 日。说明贾逵的两个值都是近似值。

刘洪早在公元 206 年编制乾象历时为了考察月球运动不均匀性对朔望及交食加时等的影响，首次明确给出近点月长度的计算方法和数值。《晋书·律历志》指出：

自黄初以后，改作历术，皆斟酌乾家所减斗分，朔望、月行阴阳迟疾，以求折衷。洪术为后代之师表。

杨伟在编制景初历时(237)，对于近点月长度的确定又做了重要推进。自此以后各家历法都给出近点月长度，其误差平均在 5 秒钟左右。表 9—5 选自陈美东给出的历代历书的恒星月长度和近地月的长度值。

**表 9—5　历代恒星月长度和近点月长度采用值**

| 作者 | 历书 | 年代 | 恒星月长度(日) | 近点月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| 刘　安 | | 前 140 | 27.321 850 | |
| 邓　平 | 太初历 | 前 104 | 27.321 863 | |
| 编　䜣 | 四分历 | 85 | 27.321 850 | |
| 李　梵 | | 90 | | 27.550 838 |
| 苏　统 | | 90 | | 27.546 260 |
| 刘　洪 | 乾象历 | 206 | 27.321 565 | 27.553 359 |
| 韩　翊 | 黄初历 | 220 | 27.321 609 | |
| 高堂隆 | 太和历 | 227 | | |
| 杨　伟 | 景初历 | 237 | 27.321 617 | 27.554 507 6 |
| 五朔之 | 永和历 | 352 | 27.321 609 | |
| 刘　智 | 太始历 | 365 | 27.321 601 | |
| 姜　岌 | 甲子元历 | 354 | 27.321 614 | 27.554 511 |
| 赵　畋 | 元始历 | 412 | 27.321 604 | 27.554 508 |
| 何承天 | 元嘉历 | 443 | 27.321 604 | 27.554 521 |
| 祖冲之 | 大明历 | 463 | 27.321 710 | 27.554 688 |
| 张龙祥 | 正光历 | 518 | 27.321 594 | 27.554 515 |
| 李业兴 | 兴和历 | 540 | 27.321 607 | 27.554 505 |




续表

| 作者 | 历书 | 年代 | 恒星月长度(日) | 近点月长度(日) |
|---|---|---|---|---|
| 宋景业 | 天保历 | 550 | 27.321 605 | 27.554 483 |
| 甄　莺 | 天和历 | 566 | | 27.554 280 |
| 马　显 | 大象历 | 579 | | 27.554 357 |
| 张　宾 | 开皇历 | 584 | 27.321 609 | 27.554 414 |
| 刘　焯 | 皇极历 | 604 | 27.321 675 | 27.554 574 |
| 张胄玄 | 大业历 | 608 | 27.321 658 | 27.554 553 |
| 傅仁均 | 戊寅历 | 619 | 27.321 707 | 27.554 543 |
| 瞿昙悉达 | 九执历 | 657 | 27.335 774 | 27.568 954 |
| 李淳风 | 麟德历 | 665 | 27.321 604 | 27.554 540 |
| 南宫说 | 神龙历 | 705 | 27.321 675 | 27.554 559 |
| 一　行 | 大衍历 | 728 | 27.321 665 | 27.554 536 |
| 郭献之 | 五纪历 | 762 | 27.321 665 | 27.554 579 |
| 徐承嗣 | 正元历 | 784 | 27.321 662 | 27.554 350 |
| 徐　昂 | 宣明历 | 822 | 27.321 667 | 27.554 546 |
| 边　冈 | 崇玄历 | 893 | 27.321 665 | 27.554 590 |
| 王　朴 | 钦天历 | 956 | 27.321 666 | 27.554 596 |
| 王处讷 | 应天历 | 960 | 27.321 665 | 27.554 591 |
| 吴昭素 | 乾元历 | 981 | 27.321 682 | 27.554 627 |
| 史　序 | 仪天历 | 1001 | 27.321 666 | 27.554 556 |
| 宋行古 | 崇天历 | 1024 | | 27.554 585 |
| 周　琮 | 明天历 | 1064 | 27.321 663 | 27.554 621 |
| 皇居卿 | 观天历 | 1092 | 27.321 657/27.321 663 | 27.554 617 |
| 姚舜辅 | 纪元历 | 1106 | 27.321 668/27.321 667 | 27.554 609 |
| 陈得一 | 统元历 | 1135 | 27.321 657/27.321 664 | 27.554 582 |
| 刘孝荣 | 乾道历 | 1167 | 27.321 667 | 27.554 592 |
| 刘孝荣 | 淳熙历 | 1176 | 27.321 672 | 27.554 605 |
| 赵知微 | 重修大明历 | 1180 | 27.321 775/27.321 667 | 27.554 609 |
| 刘孝荣 | 会元历 | 1191 | 27.321 667 | 27.554 567 |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 27.321 841/27.321 735 | 27.554 583 |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | 27.321 673 | 27.554 588 |
| 耶律楚材 | 庚午历 | 1216 | 27.321 686/27.321 667 | 27.554 608 |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1271 | 27.321 671 | 27.554 604 |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | 27.321 739/27.321 672 | 27.554 600 |
| 元　统 | 大统历 | 1384 | 27.321 739/27.321 672 | 27.554 600 |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | | 27.554 600 |
| 朱载堉 | 黄钟历 | 1581 | | 27.554 600 |
| 五锡阐 | 晓庵历 | 1628 | 27.321 665 | 27.554 614 |
| 徐光启 | 新法历 | 1628 | 27.321 586 | 27.554 568 |
| 汤若望 | 时宪历 | 1644 | 27.321 586 | 27.554 568 |
| 戴进贤 | 癸卯历 | 1742 | 27.321 585 | 27.554 562 |







20世纪20年代开始，中国有了完全接受现代天文学知识，同时又具有深厚的国学造诣的一批天文学家，例如高鲁、朱文鑫等。他们开始利用现代天文学的框架对中国古代天文学进行了许多有价值的研究，在天文学常数方面也是如此。但是在天文学常数的研究方面进行系统的研究很为鲜见。20世纪60年代以后陈美东对于年、月这两方面的常数进行了系统的研究，揭示了中国古代天文学的灿烂辉煌，作者正是慎重推荐陈美东的研究结论，才能概要地把中国天文常数研究结果展示出来。

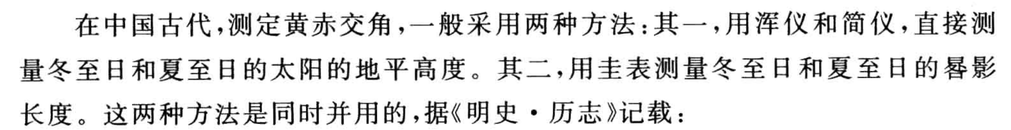
天文学常数作为某些个别需要，从来都是由天文学家自己确定选用，在西方也是如此，一直到1896年才有美国天文学家纽康提出了一组天文学常数，被公认为天文常数系统。1950年荷兰天文学家德西特(De Sitter)发现纽康天文常数系统的若干天文常数采用值互相有矛盾，因此提出在历书中采用的天文常数要经过数学的协调，从而1964年、1976年国际天文协会两次完善了天文常数系统。从陈美东对中国古代历书天文中天文常数系统的研究，说明在1 000多年以前的古代，中国天文学家已经从实践出发，自觉地或不自觉地在进行天文常数采用值的协调。因此陈美东对这一领域的研究成果，所揭示出来中国古代天文学的辉煌，无疑地具有开创性，对陈美东的这一研究成果应给予高度的评价。

## 第三节　黄赤交角

### 一、世界最早的黄赤交角测定



由于编历和制造天文仪器的需要，中国古代天文学家一贯重视黄赤交角的测定。



在中国古代，测定黄赤交角，一般采用两种方法：其一，用浑仪和简仪，直接测量冬至日和夏至日的太阳的地平高度。其二，用圭表测量冬至日和夏至日的晷影长度。这两种方法是同时并用的，据《明史·历志》记载：

> 北京立四丈表，冬至日午正，测得景长七丈九尺八寸五分。随以简仪测得太阳南至地平二十六度四十六分半。

又记有：

> 北京立四丈表，夏至日午正，测得景长一丈一尺七寸一分。随以简仪测得太阳南至地平七十四度二十六分半。

这是中国古代使用圭表测影和浑仪简仪测角的一次典型的完善记录，也就是元代著名的天文学家郭守敬进行黄赤交角测定的一次著名结果。对于黄赤交角测

量的记录达到如此简洁完善，经历了相当漫长的历史过程。

在世界上，最早进行黄赤交角测定的是中国古代天文学家。在《周礼》中：

日至之晷，尺有五寸。谓之地中。

这一段记录没有给出观测的时期，而且没有冬至日的记录，因此只有这一个记录不能认为进行了黄赤交角的测定。

东汉经学家郑众、郑玄（大约活动于公元前1世纪）在其著作《周礼·郑司农（众）解诂》一书中注解为所用表八尺，冬至影长一丈三尺，这样与《周礼》原文的夏至影长尺有五寸，就构成一对测量值，这一对值实际上可以换算出一个黄赤交角的测量值，郑众并确定此测量是公元前11世纪周公所做出的。

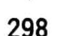
陈美东[①]在分析了《左传》、《玉海》等古典著作有关记载后，认为这一对观测值出自于某位天文学家的实测是可信的，但是郑众认定为是公元前11世纪周公所作则根据不足。在经过细致分析后，陈美东认为把这一对观测值可以暂定为公元前9世纪即西周与东周之交的年代，较为可能。

值得注意的是郑众的结论，在18世纪为一位对中国古代天文学颇有研究的耶稣会派驻中国的外国传教士宋君荣(Gaubil，1689—1759)所引用。宋君荣的结论不仅以自己的中国天文学史方面的著作流传于西方，后来被法国著名的天文学家拉普拉斯(Laplace P. S.)在研究黄赤交角的长期变化时所引用，作为拉普拉斯的著名论文“Memoire Sur la Diminution de l'Obliquite de l'Ecliptique，qui resultedes observations anciennes'CT 1811”的附录发表。

由于拉普拉斯的研究得出了关于黄赤交角随着时间缓慢地减少且其数值是每百年为47″的结果。这一结果揭示了黄赤交角缓慢变化的规律，而在近百年来一直是天体测量学方面的权威结果。特别是20世纪天体力学的进一步研究认为，在数十万年的时间内，黄赤交角呈现周期性变化，其周期有3万年。这样，在我们人类文明发展的5 000年中，黄赤交角的这些周期变化曲线正处于递减弧段的时期，从而回忆拉普拉斯当年的结论，就十分令人信服。所以曾经作为拉普拉斯理论研究的实测验证资料，中国古代第一次黄赤交角的观测结果的影响就更为深远。一直到1979年德国天文学家威特曼(A. Wittmann)在“黄道倾角”这篇论文中[②]引用了57个黄赤交角的古代实测结果，再次研究它的变化，其中包含了11个中国的实测结果，其第一个实测值就是公元前1100年，《周礼》的实测结果，他取值为23°.881。这也许就是当年宋君荣的结论。

我们古代的天文学实测成就愈是受到世界的重视，则我们中国天文学家就应





---

① 陈美东：《试论我国古代黄赤交角的测量》，《科技史文集》第三辑，科学出版社。

② A. Wittmann：Astro，and Astrophys. 1979年，73：129～131.



该愈是实事求是地、科学地把这些成果展示在全世界的面前。关于这一次具有重大历史意义的实测结果，我们应该做如下的澄清：

（1）中国古代确实进行了人类科学史上的第一次黄亦交角测定，但是它不是发生在公元前 11 世纪。它可能发生在公元前 9 世纪。就是如此，它比之于西方的第一次为古希腊人匹太阿斯（Pytheas）于公元前 350 年的结果，中国人在黄赤交角测定上比西方至少还要早 5 个世纪。这同样是非常值得自豪的。

（2）在观测值方面，应该说是非常不精确的。一则冬至日和夏至日的观测影长只是后来的追补记录，而且显然测量精度不够。因此把它作为实测数据来做数据分析，需要持十分慎重的态度。我们认为其精度不会超过 0°.1。所以把它取到三位小数的有效数是不妥当的。当然作为 3 000 年以前的古代天文学家，能得到0°.1 精度的结果，已属不易，也应该令人自豪。

## 二、浑仪测定的黄赤交角

在中国关于黄赤交角测定的记载出自《周髀算经》。该书的成书时间，现代认为是公元前 1 世纪。它的记载是：“周髀长八尺，夏至之日晷长一尺六寸。髀者骨也，正晷者勾也。”这个记录给出了直角三角形求解的方法，但同样只给了夏至日影长，没有给冬至日影长。

陈遵妫根据该书其他部分的多处记录，例如“牵牛去北极……东井去北极……”以及冬至夏至距极之差，反复筛选分析得出《周髀算经》给出的黄赤交角是 24°12′。而陈美东再次分析计算后认为《周髀算经》给出黄赤交角值应该是 24°02′。

黄赤交角测定的完整记录，应该是公元 85 年编䜣等人编制后汉四分历以后《后汉书·律历志》称“二十四节气日所在，黄道之极，晷景，昼漏刻，夜漏刻，昏中星，旦中星……黄道去极，日景之生，据仪、表也”明确地指出二十四节气的黄道去极度和日影长度是分别使用浑仪和圭表测得的。其中“冬至黄道去极百一十五度……夏至黄道去极六十七度强”。这就是我国古代文献中最早最完善的黄赤交角的测定结果。




与编䜣同时，傅安等人在制造黄道仪时，采用了 24 度（古度）为黄赤交角采用值。在编䜣、傅安之前，应该有人进行过冬至日和夏至日的去极度的实测，否则他们就不会得出 24 度的结论。譬如《石氏星经》中就有“黄道规牵牛初直斗二十度，去极二十五度”。陈美东考证认为“去极二十五度”应是“去极百一十五度”。这个错误应是坏简造成的。

值得注意的是，在浑仪、简仪这一类天文仪器制造中，黄赤交角采用值都习惯于采用 24 度，而编历中的采用值往往采用不同的数值。唐代著名天文学家李淳

风，既是历法家，又擅长于制造天文仪器。他曾经根据"冬至黄道去极度百一十五度三分……夏至黄道去极六十七度三分"而在编制麟德历和制造浑仪中统一使用24度这个采用值。但是这个采用值并不是最好的数值，只有在王蕃的时代，此值才和理论计算值相符。

在相当长的一段时期内，仪器制造家们一直坚持采用此值。譬如在李淳风之前的张衡在制造水运浑象仪中有：

赤道横带浑天之腹，去极九十一度十六分之五，黄道斜带其腹，出赤道表里各二十四度，故夏至去极六十七度强，冬至去极百一十五度亦强也。

又如，僧一行虽然在大衍历中黄赤交角采用二十三度九十分，是一个进步，但是他与梁令瓒制造的黄道游仪仍然采用24度："因二分之中以立黄道，交于轸奎之间，二至陟降各二十四度"。这说明在仪器制造中，把黄赤交角采用值定为24度成了来自先儒的经典数据，不能突破。北宋一代更为明显，许多精良的仪器有很多发明与创新，但是黄赤交角采用值均为24度，同样不敢突破经典数据。甚至包括很有创造性成就的北宋科学家沈括也是如此。而且这个不可逾越的数据还不时带进历书，从而使历法领域也受到了束缚。一直到南宋高宗绍兴二年(1132)，李继宗在制造浑仪时才大胆突破，记载"黄道单环……与赤道相交出入各廿四度弱。"

自从这一思想突破以后，宋、金、元时期仪器制造有了新的发展，这集中表现在郭守敬所取得的崭新结果。郭守敬在授时历中使用了"冬至，去极一百一十五度二十一分七十三秒。""夏至，去极六十七度四十一分一十三秒"的数据，而所制浑象中以"黄道出入赤道内外，各廿四度弱"。看来郭守敬在浑象制作中使用了23度90分的数值，这就把仪器制造和编历工作中采用的黄赤交角采用值，统一在实测基础上，这是天文仪器制造的一个大进步。



在编历工作对于黄赤交角采用值问题，似乎要好得多。例如：

史序的仪天历(1001)，使用了通过实测得到的黄赤交角采用值23°.918 85，精度达到1′。姚舜辅在纪元历中提出了"求日黄道去赤道内外度及分"的新方法，而使他得到的黄赤交角采用值，精度达43″。

## 三、圭表测影

与浑仪、简仪实测并行的圭表测影工作对于黄赤交角的贡献也特别具有中国特色，在这里也多方面地表现了中国实测天文学家的独创性。

南北朝时期的何承天、祖冲之、祖暅都进行过很好的晷影实测工作。祖冲之说："测景纪历，躬辨分寸，铜表坚钢，暴润不动，光晷明洁，纤毫尽然。"祖暅曾经"造



八尺铜表，其下与圭相连，圭上为沟，置水，以取平正。"显然对于仪器置平，圭面倾斜的误差影长，做了重要的改进。

但是奇怪的是，尽管进行了如此精确的改进工作，当其结果仍然采用"冬至晷影一丈三尺，夏至晷影尺有五寸"的先验数值，从而束缚了他们历法的改进。北魏信都芳注《周髀四术》，称"永平元年(508)戊子，当梁天监之七年，见洛阳测影，又见公孙崇集诸朝士，共观秘书影。同是夏至日其中影皆长一尺五寸八分"。说明实测是有进步的，只是崇古思想的禁锢难以冲破，而使实测成果无法使用。

隋初袁充测得开皇十六年(596)夏至日影长 1 丈 2 尺 6 寸 3 分。并且敢于同《周礼》的旧数值做了比较，承认对前者"短于旧五分"，对后者"短于旧三寸七分"。滑稽的是在事实面前袁充却做出了政治性解释，希望当局承认这个事实。尽管如此他还是在客观上冲破了《周礼》旧值不能改变的错误观念。

陈美东在分析后发现唐宋时代圭表测影工作进行得非常仔细，可是得到的黄赤交角误差反而较大，致使在应天历、乾元历、仪天历、崇天历所采用的黄赤交角值反而比早 400 多年的大同历、麟德历还要差。陈美东估计有两个可能的原因：

其一，这一时期圭表，由于未知的原因带进了较大的误差；

其二，理论计算公式不准确。可能黄赤交角的变化不能用简单线性公式表示。

我们认为第二个原因不太能成立。因为按现代天体力学理论黄赤交角随时间的变化是周期性的，其周期很长(长达数万年、数十万年的几种周期合成)，在人类科学活动的几千年里，它们自然是周期函数的一小段弧段，因此似乎用二次抛物线近似比较合理。但是我们认为这样的差别不会都表现在唐宋时期，况且变化振幅并没有这样大。所以我们认为根据陈美东的分析圭表产生的误差是造成精度下降的原因。固然在隋唐以前圭表测影已经达到了适当的精度，但随着隋唐以后圭表再装置，并不能保证重新装置的圭表具有很好的复制性。换言之，后来安装的圭表如果带有某种仪器系统误差，则后来的结果精度就不能保证比过去的高。

事实上，熙宁七年(1074)沈括提出了改进圭表的三项措施：其一是改进确立南北子午线的方法；其二是"为密室以栖表，当极为霤，以下午景，使当表端"，这样就减少了日光散射的影响；其三是使用"方首，剡其南，以铜为之"的副表，"凡景表景薄不可辨，即以小表付之，则景墨而易辨"。这就提高了照准精度。

公元 1088 年苏颂和韩公廉等人在制作水运仪象台时创造了测影新法：

> 子午正以望筒指日，令景透筒窍，以窍心之景，指圭面之尺寸为准。

望筒，圭面，二法相参。

果然，在测影的方法和技术改进以后，公元 1106 年，姚舜辅编纪元历时，得到了黄赤交角采用值准确到 2′的结果。

杨忠辅在编制统天历时(1199)利用了南宋建立在临安的清台新圭表测影结果,致使所取的黄赤交角值误差仅为1′。

郭守敬对圭表测影有长足的推进。在《元史·历志》中记载为:

旧法择地平衍设水准绳墨植表其中,以度其中晷,然表短促尺寸之下无为分秒大半少之数,未易分别。表长则分寸稍长,所不便者景虚而淡难得实景。……今以铜为表,高三十六尺,端夹以二龙,举一横梁。下至圭面共四十尺……圭表刻为尺寸,旧寸一今申为五厘,毫差易分,别创为景符以取实景,其制以铜叶,博二寸,长加博之二,中穿一窍如针芥然,以方闔为趺,一端设为机轴,令可开闔其一端,使其势斜倚,北高南下,往来迁就于虚景之中。窍达日光仅如米粒,隐然见横梁于其中。

可惜郭守敬的精确测量未能流传下来。本来可以测到厘毫的仪器,但留下来仅有精确到"分"的结果。所以按现有留下的记录,遗憾地只能达到准确到1′的黄赤交角值(景符是否能达到1′的精度,现在还有人提出质疑)。

明代陕西按察使邢云路在兰州设立6丈高表,测定了精确的回归年长度,但是没有给出黄赤交角的测定值。

还值得指出明末清初的学者王锡阐(1628—1682)在研究了中国大量的黄赤交角采用值后指出:

古云日行出入赤道二十四度,验之实测,虽今不及古,南北大距度分略同。……所云二十四度,亦自近古言之,未知今古之异耳。……黄枢左旋于赤极之旁,古远今近。

这就在拉普拉斯之前,首先提出了黄赤交角随时间呈缓慢变化的观点,这是十分宝贵的学术思想。只可惜他没有算出这种变化的大小。





陈美东综合研究了我国古代黄赤交角值,并给出了总表,我们选取其中的黄赤交角采用值或测定值列表如下,并附以理论计算值以资比较(见表9—6、表9—7)。

**表9—6 用浑仪测得的黄赤交角值**

| 作者 | 历书 | 年代 | 黄赤交角(测) | 黄赤交角(算) |
|---|---|---|---|---|
| 编 䜣 | | 85 | 23°37′35″ | 23°41′18″ |
| 傅安,贾逵 | | (约)92 | 23°39′57″ | 23°41′15″ |
| 霍 融 | | 102 | 23°39′57″ | 23°41′11″ |
| 张 衡 | | (约)130 | 23°39′57″ | 23°40′57″ |
| 刘 洪 | 乾象历 | 206 | 23°37′35″ | 23°40′22″ |
| 杨 伟 | 景初历 | 237 | 23°37′35″ | 23°40′07″ |

续表

| 作者 | 历书 | 年代 | 黄赤交角(测) | 黄赤交角(算) |
|---|---|---|---|---|
| 王　蕃 | | (约)260 | 23°39′57″ | 23°39′57″ |
| 虞　耸 | | (约)330 | 23°39′57″ | 23°39′24″ |
| 李淳风 | 麟德历 | 665 | 23°39′57″ | 23°36′47″ |
| 梁令瓒 | | 723 | 23°39′57″ | 23°36′20″ |
| 一　行 | 大衍历 | 728 | 23°34′02″ | 23°36′17″ |
| 徐　昂 | 宣明历 | 822 | 23°34′56″ | 23°35′33″ |
| 边　冈 | 崇玄历 | 893 | 23°34′02″ | 23°35′00″ |
| 王　朴 | 钦天历 | 960 | 23°39′57″ | 23°34′30″ |
| 王处讷 | 应天历 | 960 | 23°39′57″ | 23°34′29″ |
| 吴昭素 | 乾元历 | 981 | 23°39′57″ | 23°34′19″ |
| 史　序 | 仪天历 | 1001 | 23°35′09″ | 23°34′09″ |
| 韩显符 | | 1010 | 23°39′57″ | 23°34′05″ |
| 宋行古 | 崇天历 | 1024 | 23°39′57″ | 23°33′59″ |
| 周　琮 | 明天历 | 1049 | 23°39′57″ | 23°33′47″ |
| 沈　括 | | 1074 | 23°39′57″ | 23°33′35″ |
| 苏　颂 | | 1090 | 23°39′57″ | 23°33′28″ |
| 皇居卿 | 观天历 | 1092 | 23°39′57″ | 23°33′27″ |
| 姚舜辅 | 纪元历 | 1106 | 23°34′03″ | 23°33′20″ |
| 陈得一 | 统元历 | 1135 | 23°34′01″ | 23°33′07″ |
| 刘孝荣 | 乾道历 | 1167 | 23°34′03″ | 23°32′52″ |
| 刘孝荣 | 淳熙历 | 1176 | 23°34′03″ | 23°32′47″ |
| 赵知微 | 大明历(重修) | 1182 | 23°34′06″ | 23°32′45″ |
| 刘孝荣 | 会元历 | 1191 | 23°34′03″ | 23°32′40″ |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 23°34′04″ | 23°32′37″ |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | 23°33′57″ | 23°32′33″ |
| 耶律楚材 | 庚午历 | 1216 | 23°34′06″ | 23°32′29″ |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1271 | 23°33′57″ | 23°32′03″ |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | 23°32′24″ | 23°31′58″ |
| 郭守敬 | | 1281 | 23°34′13″ | 23°31′58″ |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | 23°34′13″ | 23°29′50″ |

**表 9—7 用圭表测影得到的黄赤交角**

| 作者 | 历书 | 年代 | 黄赤交角(测) | 黄赤交角(算) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| | | (约)前 9 世纪 | 23°54′06″ | 23°48′13″ |
| | | (约)前 1 世纪 | 24°02′12″ | 23°42′45″ |
| 刘 向 | | (约)前 25 | 23°45′44″ | 23°42′10″ |
| | | (约)前 25 | 23°58′16″ | 23°42′10″ |
| | | (约)前 25 | 23°54′06″ | 23°42′10″ |
| 编 䜣 | 四分历 | 85 | 23°54′06″ | 23°41′18″ |
| 刘 洪 | 乾象历 | 206 | 23°54′06″ | 23°40′22″ |
| 杨 伟 | 景初历 | 287 | 23°54′06″ | 23°40′07″ |
| 何承天 | 元嘉历 | 443 | 23°54′06″ | 23°38′31″ |
| 祖冲之 | 大明历 | 463 | 23°54′06″ | 23°38′21″ |
| 祖 暅 | | (约)510 | 23°54′06″ | 23°37′59″ |
| 虞 劆 | 大同历 | 544 | 23°33′59″ | 23°37′43″ |
| 袁 充 | | 581 | 23°41′01″ | 23°37′26″ |
| 袁 充 | | 596 | 23°42′11″ | 23°37′19″ |
| 李淳风 | 麟德历 | 665 | 23°41′12″ | 23°36′43″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°39′36″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°38′57″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°38′04″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°39′48″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°39′07″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°40′08″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | ? | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | 23°43′51″ | 23°36′19″ |
| 一行,南宫说 | | 724 | ? | 23°36′19″ |
| 一 行 | 大衍历 | 728 | 23°41′35″ | 23°36′17″ |
| 徐 昂 | 宣明历 | 822 | 23°40′50″ | 23°35′33″ |
| 边 冈 | 崇玄历 | 893 | 23°41′34″ | 23°35′00″ |
| 王 朴 | 钦天历 | 956 | 23°43′42″ | 23°34′30″ |
| 王处讷 | 应天历 | 960 | 23°40′50″ | 23°34′29″ |
| 吴昭素 | 乾元历 | 981 | 23°42′55″ | 23°34′19″ |
| 史 序 | 仪天历 | 1001 | 23°41′29″ | 23°34′09″ |
| 宋行古 | 崇天历 | 1024 | 23°41′34″ | 23°33′59″ |
| 周 琮 | | 1050 | 23°28′49″ | 23°33′46″ |
| 周 琮 | 明天历 | 1064 | 23°30′40″ | 23°33′40″ |
| 皇居卿 | 观天历 | 1092 | 23°30′40″ | 23°33′27″ |
| 姚舜辅 | 纪元历 | 1106 | 23°31′32″ | 23°33′20″ |
| 陈得一 | 统元历 | 1135 | 23°31′32″ | 23°33′07″ |
| 刘孝荣 | 乾道历 | 1167 | 23°31′32″ | 23°33′52″ |







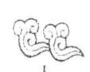
续表

| 作者 | 历书 | 年代 | 黄赤交角(测) | 黄赤交角(算) |
|---|---|---|---|---|
| 刘孝荣 | 淳熙历 | 1176 | 23°31′32″ | 23°32′47″ |
| 赵知微 | 大明历(重修) | 1182 | 23°31′32″ | 23°32′45″ |
| 刘孝荣 | 会元历 | 1191 | 23°31′32″ | 23°32′40″ |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 23°30′40″ | 23°32′37″ |
| 杨忠辅 | 统天历 | 1199 | 23°31′48″ | 23°32′37″ |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | 23°32′44″ | 23°32′33″ |
| 鲍干之 | 开禧历 | 1207 | 23°31′48″ | 23°32′33″ |
| 耶律楚材 | 庚午历 | 1216 | 23°31′32″ | 23°32′29″ |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1271 | 23°32′44″ | 23°32′03″ |
| 陈　鼎 | 成天历 | 1271 | 23°31′48″ | 23°32′03″ |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | 23°33′00″ | 23°31′58″ |
| 郭守敬 | 授时历 | 1281 | 23°33′02″ | 23°31′58″ |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | 23°33′00″ | 23°29′50″ |
| 朱载堉 | 万年历 | 1554 | 23°29′28″ | 23°29′50″ |
| 朱载堉 | 黄钟历 | 1581 | 23°33′00″ | 23°29′38″ |
| 朱载堉 | 黄钟历 | 1581 | 23°29′28″ | 23°29′38″ |
| 邢云路 |  | (约)1608 | 23°33′02″ | 23°29′25″ |

## 第四节　子午线弧长与地球半径

人类建立地球是球形的概念经历了一个相当长的过程。在这个问题上最早闪耀出真知灼见光芒的是古希腊的科学家。约在公元前540年，由著名的数学家毕达哥拉斯(Pythagoras)及其学生们首先提出了地球是球形的见解。后来柏拉图(Plato，前427—前347)在建立自己的宇宙体系时，把球形的地球置于宇宙的中心，天体都绕地球做圆周运动。埃拉托色尼(Eratosthenes，前276—前196)做了一件划时代的工作。他在塞恩城(今埃及的阿斯旺)观测日光直射井底(此即太阳过天顶)的同时，在另一个城市亚历山大城用仪器测得太阳的天顶距为1/50圆周。据此埃拉托色尼根据两个城市的南北距离算出了地球的周长。但是埃拉托色尼并没有进行实际测量，仅仅是采用商队走过的行程，得到地球周长为39 600千米。如果除以2π，则可以得到相应的地球半径为6 302千米。





遗憾的是关于球形地球的概念，在中国比希腊科学家略逊一筹。在公元1世纪前，中国科学家关于宇宙的学说是盖天说。在盖天说的几个阶段中都看不出任何关于球形地球的概念。例如“天圆如张盖，地方如棋局”就是说得最清楚的平面地球。东汉以后的浑天说提出“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡子中黄，孤居于

天内，天大而地小，天之包地，尤壳之裹黄，天地各乘气而立，载水而浮”。这里给出了一个隐隐约约的球形地球的概念，但还是不如古希腊科学家对球形地球描述得那样彻底，而后来几乎没有看到实测天文学家们沿用这一概念来准确解释某些天象。

就是在西方，古希腊科学家们所认识到的球形地球的真理，看来也没有被很多人完全接受，直到 1543 年，哥白尼在发表他的不朽著作《天体运行论》时，还专门有一章“论大地同样之为球形”。哥白尼在论证这一观点时，选用有两个证据：一个是越向南走，南边的恒星越高，北边的恒星越低，天极高度的变化和南北距离成正比；另一个证据是航海家在船的甲板上还看不到陆地的时候，在桅杆上却能看到它。这两点证据，现代人看来已是众所周知的事实，而却是当时这样一位伟大的科学家很认真地提出的科学论据，足见就是到了 16 世纪，关于球形地球的概念，也需要更多人的认同。

虽然人们建立球形地球这一概念是如此的困难，但是人们毕竟是每天生活在这个球形天体上，因为地球的球形所导致的一些天象常常要摆在人们的面前，特别是要摆在那些勤于精密观察天象的古代天文学家面前。

中国古代宇宙论中的盖天说曾经对中国古代天文学家产生过很深的影响，在盖天说的数量化过程中，用 8 尺长的高表在南北两地测量日影的长度，得到南去千里，影短 1 寸，北去千里，影长 1 寸。这是一个错误的测量结果，但是盖天说从这个结果出发，导出了天高“十万三千里”的结论。而“日影千里差一寸”就在相当长的时期内成为先哲的经典，耽误了很多工作。但是这个错误的教条，却无意地反映了一点真实，那就是南北影长不同倒恰恰是地球是球形的结果。不过这个错误测量导致的地球子午线周长和真实的地球半径相差很大，也正好说明导致这个错误结论的测量是多么的错误。然而几百年时间内却被中国古代天文学家当做真理，无法逾越。



一直到公元 442 年，即刘宋元嘉十九年，这个结论才开始发生动摇，当时派人去交州（今广乐，在今广西和越南境内）进行圭表测影得到夏至日影长向南 3 寸 2 分，何承天（370—447）认为阳城夏至表影为 1 尺 5 寸，两地相差 1 尺 8 寸 2 分，而距离为万里，所以得出影长差 1 寸，地只差 600 里。

萧梁大同年间（535—545）在建康（今南京）以 8 尺表测得夏至影长 1 尺 1 寸 7 分，后来信都芳在注《周髀四术》中称，后魏永平元年即梁天监七年（508）在洛阳得到夏至影长 1 尺 5 寸 8 分，两地影长相差 4 寸 1 分，而南北距离约千里，折合为影长差 1 寸应该是地差 250 里。

在这两次实测的基础上，刘焯（544—608）指出：



> 《周官》夏至日影，尺有五寸。张衡，郑玄，王蕃，陆绩先儒等，皆以为影千里差一寸。言南戴日下万五千里，表影正同，天高乃异。考之说法，必为不可。寸差千里，亦无典说，明为意断，事不可依。今交爱之州，表北无影，计无万里，南过戴日，是千里一寸，非其实差。焯今说浑，以道为率，道里不定，取差乃审。……请一水工并解算术士，取河南北平地之所，可量数百里，南北使正，审时以漏，平地以绳，随气至分，同日度影，得其差率，里即可知。则天地无所匿其形，辰象无所逃其数，超前显圣效象除疑。

刘焯以科学家的锐利眼光，从实测中看出了问题，并同时提出了进行实践检验的计划。这个计划当时没有得到批准。3年以后隋炀帝大业三年(607)才下诏令各郡测影。遗憾的是1年以后刘焯去世，这一测量子午线弧长的计划没有最终完成，但是刘焯的科学思想则经过120年以后被唐代著名天文学家僧一行(俗名张遂)所继承。

一行为了实现这个计划，首先发明了新的测量仪器——复矩，这是一个测量北极高度的仪器，也就等于现代测量纬度的仪器，于开元十二年六月(724)于丽正书院“定表样，并审尺寸”，统一测量项目、方法和选定了测量地点。

在《旧唐书·天文志》对这次测量留下了详细而宝贵的记载，记载表明这次测量共测了11个点，它们是：

(1)洛阳阳城，在河南登封县告城镇。这也是后来元代郭守敬建立了40尺的高表的地方。看来一行的测量，把阳城作为基点。

(2)滑白马县，建立的观测台，名为滑台，在今河南滑县。

(3)汴州浚仪，今河南省开封市内，建立的观测台名为岳台。

(4)许州扶沟，今河南省扶沟县。

(5)豫州上蔡武津馆，今河南省上蔡县。

(6)朗州武陵，今湖南省常德市。

(7)蔚州横野军，今河北省蔚县。

(8)安南都护府，今越南境内，约北纬26°处。

(9)林邑，今越南境内，约北纬17°处。

(10)襄州，今湖北省襄樊市。

(11)太原府，今山西省太原市。

曾经有的作者认为，一行组织的这次大地测量，共有13个观测点，我们认为这是不准确的。因为在《旧唐书·天文志》中所保存的记载，虽然确实还有交州和铁勒(在今蒙古境内)，但是关于这两个地点只是在记载文字中发表某种议论时才出现，而没有刊载这两个点的任何实测记载，在最后的归纳总结中，也没提到这两个




点，因此我们认为一行组织的测量计划，进行了实测而又保存了观测结果的应该是11个观测点。

在这11个观测点中，奇怪的是襄州和太原两个点，在记载最后归纳时提到，但没有像其他9个点那样给出了北极高度和影长。按记载原文行文看，有人猜测是否襄州和蔡州上蔡之间，太原和蔚州横野军之间实测的北极高度是一样的。我们特意粗略地检查了这两对地点的纬度，发现襄州和蔡州相差约1°，太原和蔚州相差约2°，这已经在当时记录误差之外。所以我们认为襄州和太原两地的北极高度值在传抄中丢失了。

这样，保存到现在的实际上只有9个观测点的实测记录。北极高度即地理纬度，至日的影长等资料在天文上有较多的用途，但对于本节要讨论的子午线弧长还不够，要得到子午线弧长则还需要知道测点之间南北方向的距离。

因此在这里给出了南北距离的是由南宫说完成的白马、浚仪、扶沟、上蔡四个观测点的资料。记载原文如下：

开元十二年，太史监南宫说择河南平地，以水准绳，树八尺之表，而以引度之始，自滑州白马县，北至之晷尺有五寸七分，自滑州台表南行一百九十八里百七十九步，得汴州浚仪古台表，夏至影长一尺五寸微强。又自浚仪而南百六十七里二百八十一步，得许州扶沟县表，夏至影长一尺四寸四分。又自扶沟而南一百六十里百一十步至豫州上蔡武津表，夏至影长一尺三寸六分半。大率五百二十六里二百七十步，影差2寸有余。

根据实测，一行、南宫说得出了地差526里276步，影差2寸有余。这样就彻底推翻了数百年来地差千里影差1寸的错误结论，于是大胆地说："先儒以为王畿千里影移一寸，乖舛而不同矣。"表现了科学家勇敢和求实的精神。



如果把南宫说的记录，列成我们现代所用的表，就可以看得更清楚(表9—8)。

表9—8　南宫说的测量结果

| 地名 | 北极高(古度) | 中午影长(尺) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 冬至 | 夏至 | 春秋分 | 距离 |
| 白马 | 35.3 | 13.00 | 1.57 | 5.56 | |
| 浚仪 | 34.8 | 12.85 | 1.53 | 5.50 | 198里197步 |
| 扶沟 | 34.3 | 12.53 | 1.44 | 5.37 | 167里281步 |
| 上蔡 | 33.8 | 12.38 | 1.36 | 5.28 | 160里110步 |

从本表中我们粗略计算，应该是每隔1度相应的南北两地相差350里190步，而《唐会要》记载"数年伺候，及还京，与一行师一时校之"，"一行以南北日影较量，



用勾股算之”，这样一行得出：“……然大率五百二十六里二百七十步而北极差一度半，三百五十一里八十步而差一度。”

考虑到四个观测点虽然经过了精心选择，几乎在同一根子午线上，但毕竟还存在小量的经度差，按照现代的数值，它们是东经 114°.2～114°.5 之间，必然在南北方向上略有修正，而且我们考察的是一行、南宫说的实测工作，很自然应该使用他们的结论，即北极高(即纬度)差 1 度，地差 351 里 80 步。

考虑到唐代 1 里相当于现代的 371.25 米，且每 300 步相当于 1 里，以及 1 度(唐古度)相当于现代的 0°.986，经过单位的换算后，得到一行的结果是子午线 1 的弧长是 132.3 千米。

把这个数值折算成地球半径，则相当于 7 580 千米，这比现代地球半径值6 360 千米有 20%的误差。这个误差略嫌偏大。一行的结果毕竟是 1 200 年以前的实测结果，尽管一行并没有意识到他的工作是在确定地球半径这个天文常数，但是他是一次严格的科学意义上的测量，在世界上也是具有划时代意义的科学实践，应该给予很高的评价。




# 附录　224颗恒星的古今星名与位置

## 一、224颗恒星4 000年位置表

古天文研究中常常需要计算恒星位置。这些研究包括昏旦中星，古代恒星位置观测以及以恒星背景为参考系的天体位置（如日、月、五星、流星、客星等）描述。古代恒星名称与今不尽相同，几千年来也有变迁，古今恒星星名的对证更是少不了恒星位置计算。

为方便古天文研究应用，我们计算了224颗中国古代最常用到的恒星4 000年来的位置。这些星的选取，考虑到以下两个方面。

(1)全天亮星

谈到天上有多少星，通常总有一个亮度的概念。例如全天一等亮星有20颗，肉眼可见的恒星（6等以上）有6 000颗。中国古代恒星观测着重于星占，往往对某些似见非见的暗星津津乐道，而一些较亮的星却从不提及。随着恒星观测科学性的提高，恒星亮度也得到重视。明清的"中星谱"、"过洋牵星图"等科学利用恒星位置的著作便对亮星予以特殊的重视。实际上，在古今星名证认研究中，在不违反原始描述和数据的原则上，也总是取较亮的星。在我们的位置表中，取全天亮于3.0等的恒星，共170颗。其中有5颗是赤纬低于－60度的恒隐星，考虑到航海中的可能应用，予以保留。





(2)中国古代特别重视的星

二十八宿距星是中国古代天球坐标系的基本骨架。其重要性不言而喻。奎、觜、参三宿距星在清初有变化，因而新老共计31颗（在现行中名系统中，各宿第一星是距星。但传统的距星是其中奎宿二、觜宿二和参宿三）。除纳入上述全天亮星的外尚有16颗。北极天枢是鹿豹座中一颗5.3等小星（在BS星表中编号4893，GC星表中编号17443）。在13世纪以前的1 000多年中，它是肉眼明显可见的离北天极最近的星，并被中国古代天文学家当做北极星加以研究。黄道星名在中国古籍中出现频率很高，因为它们是日月五星运动的参照物，在历法和星占中都有大量运用。对于黄道星，我们将星等放宽到4.0等，并增加了9颗暗于4.0等，但古籍中常常用到的星，这样共增加37颗黄道星。

这样，我们的位置表共收入恒星224颗。希望它在这一数量级上代表了中国



古代常用的恒星。

对于古代肉眼观测而言，影响恒星视位置的章动、视差、光行差等振幅不超过几十角秒的周期性因素不需要考虑。需要计及的只是岁差和恒星空间运动(自行，视向速度)。尽管古天文研究不需要很高的精度(例如恒星位置通常准确到1/10度即可)，但由于其历元跨度极大，因而在计算岁差、自行时仍需要认真仔细选用合理的方法，以保证其长期稳定性。我们采用直角坐标矩阵转换的方法来计算岁差和自行，可以保证在4 000年历元间隔中满足我们的精度要求。计算方法吴守贤等[①]做了详细讨论。

表1给出这224颗恒星的中西星名和基本数据。表中BS为《耶鲁大学亮星星表(BS星表)》中的星号。该星表包括全天亮于6.55等的全部恒星共9 091颗，最适宜于古天文研究使用。表中GC为《博斯星表(GC星表)》中的星号。该星表包括33 342颗亮星，也常为古天文研究者引用。基本数据表中Mg为星等，$\alpha$、$\delta$为2000历元的赤经、赤纬。赤经单位为时、分；赤纬单位为度。这些数据以及计算所需的赤经自行、赤纬自行、视向速度、视差全部取自BS星表第四版。表2就是224颗恒星4 000年位置表。每颗恒星一个表，每200年给出一组赤经、赤纬值(单位都是度)。不同历元的坐标可以用线性内差的方法求得；某一特定坐标所对应的历元也可内插求得。表1和表2中的赤经所用单位不同：前者用时、分，便于与星图星表对照；后者用单一单位：度，便于内插计算。

表中"西名"为现行国际标准星座星名。"仪象考成"是《中西对照恒星图表》[②]中的中国星名。这一中名系统来源于清初《仪象考成》和《仪象考成续编》。实际上清初的中国星名与传统星名已有诸多差异，同时星官内部的命名方法也完全不同。较早和较完备的中国星名见《中国恒星观测史》[③]中整理的宋代皇祐星表和元代至元星表，其中分别有360颗星和741颗星的中西对应星名。黄道星名对应可以由古代月五星凌犯记录中得到。表中"古名"为元代至元星表的星名，标*者为宋代皇祐星表星名。标#者为凌犯记录得到的星名，它们的年代更早。注意，当星官名相同时，古名中略去了星官名。例如No. 1古名"北星"应读作"壁宿北星"。有些星在皇祐星表中找不到(因为它只包含360颗距星)，但在潘鼐据皇祐星表所做的星图中可以看到，我们也将其注入"古名"。更早的星名，见于对《开元占经》中石氏星经的研究[④]。其星名对应众说纷纭，难有定论。




① 吴守贤，刘次沅：《陕西天文台台刊》，1983年第2期，第1页。

② 伊世同：《中西对照恒星图表》，科学出版社，1981。

③ 潘鼐：《中国恒星观测史》，学林出版社，1989。

④ 潘鼐：《中国恒星观测史》，学林出版社，1989。

比较表 2 中《仪象考成》与古名可以看到，星名的不同主要是星官内部的命名方法不同，星官不同的很少（只有 12 颗星。当然，在更暗更次要的星中，差异会更大）。中国古代星官内部的命名，使用前后左右，东西南北等词语，基本上是一种描述而不是定义。《仪象考成》沿用西方成法，用数字来定义星官内部的星名，应该说是一种进步。

图中给出二十八宿距星赤经的 5 000 年来变化。横坐标是赤经，也标出太阳在二分二至的位置：春分 0°，夏至 90°，秋分 180°，冬至 270°。图上部标明赤经值和分至。图的纵坐标是历元（年代）。图中每条斜线代表一颗距星（标在图下方），由图可以查出它在每个历元的赤经值，或某个赤经值所对应的历元。二十八宿距星赤经图虽然没有位置表的信息量大（没有赤纬；图上查出的值不很精确），但是它很直观地表现了宿度，距星赤经随历元的变化：觜宿如何越来越窄，最终由觜先参后变成参先觜后，改用参宿一为距星后才恢复了原来的次序；鬼宿越来越窄，数百年后将重蹈觜宿的覆辙；心宿越来越宽……这些天象，在图上一目了然。

## 二、应用实例

下面列举 224 颗恒星 4 000 年来位置表和二十八宿距星赤经图的一些用法和用途的实例。

（1）用线性内插法求某历元的恒星位置

例如求公元 125 年织女星赤经。由表中查 0 年为 262.4，200 年为 264.1。125 年内插因子为 125/200，赤经为 262.4＋（264.1－262.4）×125/200＝263°.5。

（2）在图上观察冬至点入宿度的变化





图中赤经 270°对应的竖虚线就是冬至的位置。随着岁差变化，它在各宿中移动。公元前 3000 年冬至在危宿斜线的右侧，因而入危宿（3 度），然后入虚宿，入女宿，大约公元前 1000 年入牛宿，前 450 年入斗宿，然后入箕宿，如今在尾（17 度）。精确年代和度数，可以用位置表内插求出。

（3）求某历元的冬至点入宿度

例如求太初改历时（前 104）冬至点入宿度。由图中可见－103 年（前 104）冬至点入斗宿。查斗宿一位置表，用线性内插得到－103 年斗宿一赤经为 248°.7。冬至点赤经总是 270°，因而冬至入斗宿 270－248.7＝21°.3，合 21.6 古度。

（4）求某坐标值的观测历元

例如《开元占经》载石氏曰大角星去极 58 度。化为今度 57°.2，折合赤纬为 90－57.2＝32°.8。查大角星位置表，在－200 年（31.7）和－400 年（33.0）之间。用线性内插法，观测年代为－200－（32.8－31.7）/（33.0－31.7）×200＝－200－



169＝－369年。当然，我们可以确认的只是大角星在－369年时去极58古度。至于这个年代是否就是石氏星经的观测年代，还有观测误差、截断误差、传抄错误等方面的问题，需要深入研究。

(5)推算中天星象的历元

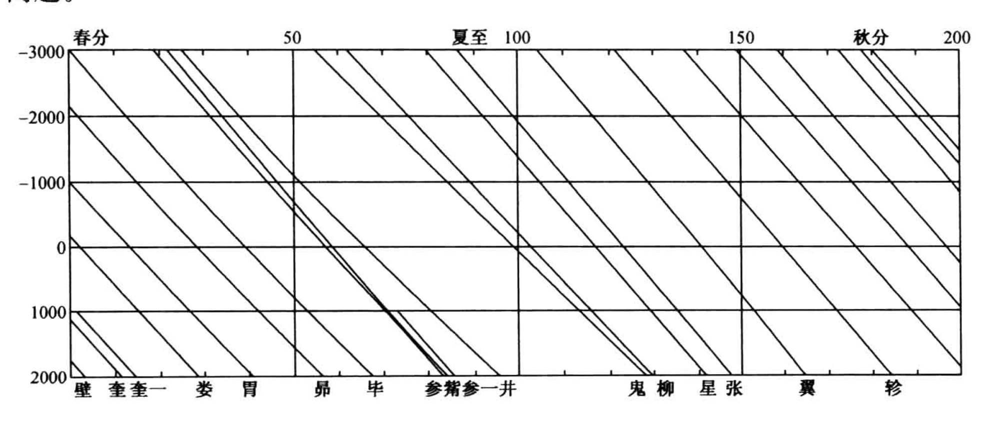
例如《尚书·尧典》有“日中星鸟，以殷仲春”，说的是春分日黄昏，鸟星正南中天。春分太阳赤经为0°，日落时南中天星的赤经应为90°，鸟星是二十八宿中的星宿。查星宿一位置表，赤经为90°时的历元在－2000年(91.9)和－2200年(89.4)之间。用线性内插法得到－2000－(91.9－90)÷(91.9－89.4)×200＝－2152年。这就是春分黄昏日落时鸟星上中天天象所对应的历史年代。

(6)推日所在宿的适用年代

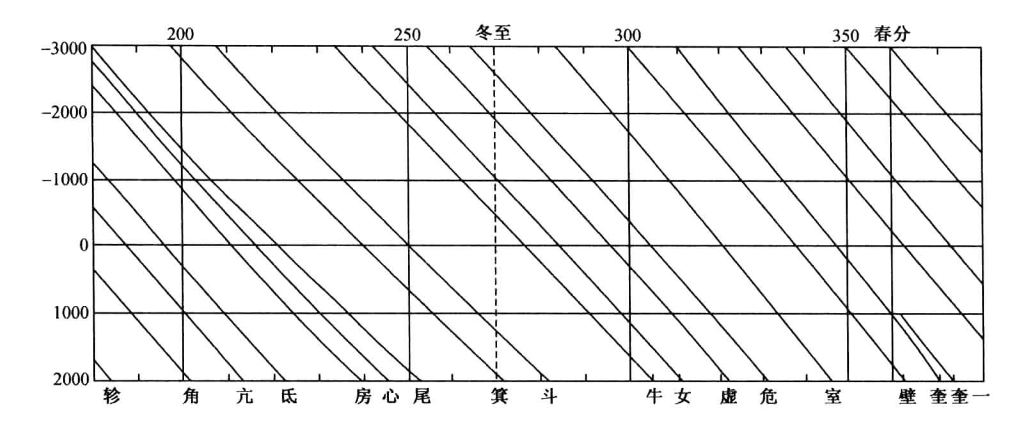
例如《礼记·月令》记载12个月的日所在及昏旦中星。首句为“孟春之月日在营室”。孟春为正月，中气雨水，太阳黄经330°，合赤经332°。在图上332°处画一竖线，与室(营室)、壁两条斜线相交于两点，其间的年代即为“日在营室”的可能范围。由图上大致量取得－500至800年(用位置表可以取得更精确的数值)。由12个月的日所在宿可以取得12个年代区间。它们的共同区间就是《礼记·月令》日所在天象的适用年代。这当然和月令的产生年代密切相关。参照“日所在”和上条“中天星象”也可以推算月令昏旦中星的适用年代，当然其间对“昏旦条件”还需做考虑和推算。

以上六个例子，例(1)、例(3)是已知历元查表求坐标；例(4)、例(5)是已知坐标查表求历元；例(2)、例(6)是看图求解(当然精确解还是要由表中内插得到)，都是中国古代天文学中常见的实例。熟悉了表和图的用法，可以解决更多的古天文问题。




二十八宿距星赤经图(1)




二十八宿距星赤经图(2)





**表 1　224 颗恒星的星名和基本数据**

| No | BS | α (h) | (m) | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | 0 | 8 | 29.1 | 2.1 | 仙女 α | 壁宿二 | 北星 |
| 2 | 21 | 0 | 9 | 59.1 | 2.3 | 仙后 β | 王良一 | (距)西星 * |
| 3 | 39 | 0 | 13 | 15.2 | 2.8 | 飞马 γ | 壁宿一 | (距)南星 |
| 4 | 98 | 0 | 25 | −77.3 | 2.8 | 水蛇 β | 蛇尾一 | |
| 5 | 99 | 0 | 26 | −42.3 | 2.4 | 凤凰 α | 火鸟六 | 八魁(距)南大星 * |
| 6 | 168 | 0 | 40 | 56.5 | 2.2 | 仙后 α | 王良四 | 王良 * |
| 7 | 188 | 0 | 43 | −18.0 | 2.0 | 鲸鱼 β | 土司空 | 同 |
| 8 | 215 | 0 | 47 | 24.3 | 4.1 | 飞马 ζ | 奎宿二 | (距)西南大星 |
| 9 | 264 | 0 | 56 | 60.7 | 2.5 | 仙后 γ | 策 | 王良 * |
| 10 | 271 | 0 | 57 | 23.4 | 4.4 | 飞马 η | 奎宿一 | 西南小星 |
| 11 | 337 | 1 | 9 | 35.6 | 2.1 | 仙女 β | 奎宿九 | 东北第三星 |
| 12 | 403 | 1 | 25 | 60.2 | 2.7 | 仙后 δ | 阁道三 | 附路 |
| 13 | 424 | 2 | 31 | 89.3 | 2.0 | 小熊 α | 勾陈一 | 大星 |
| 14 | 472 | 1 | 37 | −57.2 | 0.5 | 波江 α | 水委一 | |
| 15 | 553 | 1 | 54 | 20.8 | 2.6 | 白羊 β | 娄宿一 | (距)中央大星 |
| 16 | 591 | 1 | 58 | −61.6 | 2.9 | 水蛇 α | 蛇首一 | |
| 17 | 603 | 2 | 3 | 42.3 | 2.3 | 仙女 γ1 | 天大将军一 | 东中星 |
| 18 | 617 | 2 | 7 | 23.5 | 2.0 | 白羊 α | 娄宿三 | 东星 |
| 19 | 622 | 2 | 9 | 35.0 | 3.0 | 三角 β | 天大将军九 | 南大星 |
| 20 | 801 | 2 | 43 | 27.7 | 4.7 | 白羊 35 | 胃宿一 | (距)西南星 |



续表

| No | BS | α (h)(m) | | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 911 | 3 | 2 | 4.1 | 2.5 | 鲸鱼 α | 天囷一 | 第一星，大星 * |
| 22 | 915 | 3 | 4 | 53.5 | 2.9 | 英仙 γ | 天船二 | 第二星 |
| 23 | 936 | 3 | 8 | 41.0 | 2.1 | 英仙 β | 大陵五 | 第五星 |
| 24 | 1017 | 3 | 24 | 49.9 | 1.8 | 英仙 α | 天船三 | 大星 |
| 25 | 1142 | 3 | 44 | 24.1 | 3.7 | 金牛 17 | 昴宿一 | (距)西南第一星 |
| 26 | 1165 | 3 | 47 | 24.1 | 2.9 | 金牛 η | 昴宿六 | 西第五星 |
| 27 | 1203 | 3 | 54 | 31.9 | 2.9 | 英仙 ζ | 卷舌四 | 东第四星 |
| 28 | 1220 | 3 | 57 | 40.0 | 2.9 | 英仙 ε | 卷舌二 | 东第二星 |
| 29 | 1231 | 3 | 58 | −13.5 | 3.0 | 波江 γ | 天苑一 | 第一星 |
| 30 | 1346 | 4 | 19 | 15.6 | 3.7 | 金牛 γ | 毕宿四 | 中央星 |
| 31 | 1373 | 4 | 22 | 17.5 | 3.8 | 金牛 δ1 | 毕宿三 | 右股第三星(注) |
| 32 | 1409 | 4 | 28 | 19.2 | 3.5 | 金牛 ε | 毕宿一 | (距)右股第一星(注) |
| 33 | 1412 | 4 | 28 | 15.9 | 3.4 | 金牛 θ2 | 毕宿六 | 左股第二星(注) |
| 34 | 1457 | 4 | 35 | 16.5 | 0.9 | 金牛 α | 毕宿五 | 左股第一星，大星 *(注) |
| 35 | 1577 | 4 | 56 | 33.2 | 2.7 | 御夫 ι | 五车一 | 西南星 |
| 36 | 1605 | 5 | 1 | 43.8 | 3.0 | 御夫 ε | 柱一 | 西北柱 * |
| 37 | 1666 | 5 | 7 | −5.1 | 2.8 | 波江 β | 玉井三 | 西北星 |
| 38 | 1708 | 5 | 16 | 46.0 | 0.1 | 御夫 α | 五车二 | 西北星，大星 * |
| 39 | 1713 | 5 | 14 | −8.2 | 0.1 | 猎户 β | 参宿七 | 西南星 |
| 40 | 1790 | 5 | 25 | 6.3 | 1.6 | 猎户 γ | 参宿五 | 西北星 |
| 41 | 1791 | 5 | 26 | 28.6 | 1.7 | 金牛 β | 五车五 | 东南星 |
| 42 | 1829 | 5 | 28 | −20.8 | 2.8 | 天兔 β | 厕二 | 西南星 |
| 43 | 1852 | 5 | 32 | −0.3 | 2.2 | 猎户 δ | 参宿三 | (距)中央西星 |
| 44 | 1865 | 5 | 32 | −17.8 | 2.6 | 天兔 α | 厕一 | 西北星 |
| 45 | 1876 | 5 | 34 | 9.5 | 4.4 | 猎户 φ1 | 觜宿二 | (距)西南星 |
| 46 | 1879 | 5 | 35 | 9.9 | 3.5 | 猎户 λ | 觜宿一 | 北星 |
| 47 | 1899 | 5 | 35 | −5.9 | 2.8 | 猎户 ι | 伐三 | 下星 |
| 48 | 1903 | 5 | 36 | −1.2 | 1.7 | 猎户 ε | 参宿二 | 中央中星 |
| 49 | 1910 | 5 | 37 | 21.1 | 3.0 | 金牛 ζ | 天关 | 同 |
| 50 | 1948 | 5 | 40 | −1.9 | 2.1 | 猎户 ζ | 参宿一 | 中央东星 |
| 51 | 1956 | 5 | 39 | −34.1 | 2.6 | 天鸽 α | 丈人一 | 北星 |
| 52 | 2004 | 5 | 47 | −9.7 | 2.1 | 猎户 κ | 参宿六 | 东南星 |
| 53 | 2061 | 5 | 55 | 7.4 | 0.5 | 猎户 α | 参宿四 | 东北星 |
| 54 | 2088 | 5 | 59 | 44.9 | 1.9 | 御夫 β | 五车三 | 东北星 |
| 55 | 2095 | 5 | 59 | 37.2 | 2.6 | 御夫 θ | 五车四 | 东中星 |




续表

| No | BS | α (h)(m) | | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 56 | 2216 | 6 | 14 | 22.5 | 3.3 | 双子 η | 钺 | 同 |
| 57 | 2286 | 6 | 22 | 22.5 | 2.9 | 双子 μ | 井宿一 | (距)西扇第一星(注) |
| 58 | 2294 | 6 | 22 | −18.0 | 2.0 | 大犬 β | 军市一 | 野鸡 |
| 59 | 2326 | 6 | 23 | −52.7 | −0.7 | 船底 α | 老人 | 同 |
| 60 | 2343 | 6 | 28 | 20.2 | 4.2 | 双子 ν | 井宿二 | 西扇第二星(注) |
| 61 | 2421 | 6 | 37 | 16.4 | 1.9 | 双子 γ | 井宿三 | 西扇第三星(注) |
| 62 | 2473 | 6 | 43 | 25.1 | 3.0 | 双子 ε | 井宿五 | 东扇第一星(注) |
| 63 | 2491 | 6 | 45 | −16.7 | −1.5 | 大犬 α | 天狼 | 狼 |
| 64 | 2529 | 6 | 51 | 21.8 | 5.3 | 双子 36 | 井宿六 | 东扇第二星(注) |
| 65 | 2553 | 6 | 49 | −50.6 | 2.9 | 船尾 τ | 老人增一 | |
| 66 | 2618 | 6 | 58 | −29.0 | 1.5 | 大犬 ε | 弧矢七 | 西第二星 |
| 67 | 2650 | 7 | 4 | 20.6 | 3.8 | 双子 ζ | 井宿七 | 东扇第三星(注) |
| 68 | 2693 | 7 | 8 | −26.4 | 1.8 | 大犬 δ | 弧矢一 | 矢中星 |
| 69 | 2763 | 7 | 18 | 16.5 | 3.6 | 双子 λ | 井宿八 | 东扇第四星(注) |
| 70 | 2773 | 7 | 17 | −37.1 | 2.7 | 船尾 π | 弧矢九 | 天社 * |
| 71 | 2777 | 7 | 20 | 22.0 | 3.5 | 双子 δ | 天樽二 | (距)西星 |
| 72 | 2821 | 7 | 25 | 27.8 | 3.8 | 双子 ι | 五诸侯三 | 第三星 |
| 73 | 2827 | 7 | 24 | −29.3 | 2.5 | 大犬 η | 弧矢二 | 矢后星 |
| 74 | 2845 | 7 | 27 | 8.3 | 2.9 | 小犬 β | 南河二 | 中星 |
| 75 | 2890 | 7 | 34 | 31.9 | 1.6 | 双子 α | 北河二 | 中星 |
| 76 | 2943 | 7 | 39 | 5.2 | 0.4 | 小犬 α | 南河三 | 大星 |
| 77 | 2985 | 7 | 44 | 24.4 | 3.6 | 双子 κ | 积薪 | 五诸侯第五星 |
| 78 | 2990 | 7 | 45 | 28.0 | 1.1 | 双子 β | 北河三 | 东大星 |
| 79 | 3165 | 8 | 3 | −40.0 | 2.3 | 船尾 ζ | 弧矢增廿二 | |
| 80 | 3185 | 8 | 7 | −24.3 | 2.8 | 船尾 ρ | 弧矢增卅二 | |
| 81 | 3207 | 8 | 9 | −47.3 | 1.8 | 船帆 γ | 天社三 | |
| 82 | 3307 | 8 | 22 | −59.5 | 1.9 | 船底 ε | 海石一 | |
| 83 | 3357 | 8 | 31 | 18.1 | 5.4 | 巨蟹 θ | 鬼宿一 | (距)西南星 |
| 84 | 3366 | 8 | 32 | 20.4 | 5.3 | 巨蟹 η | 鬼宿二 | 西北星 |
| 85 | 3410 | 8 | 37 | 5.7 | 4.2 | 长蛇 δ | 柳宿一 | (距)西头第三星 |
| 86 | 3449 | 8 | 34 | 21.5 | 4.7 | 巨蟹 γ | 鬼宿三 | 东北星 |
| 87 | 3461 | 8 | 44 | 18.2 | 3.9 | 巨蟹 δ | 鬼宿四 | 东南星 |
| 88 | 3485 | 8 | 44 | −54.7 | 2.0 | 船帆 δ | 天社三 | |
| 89 | 3634 | 9 | 7 | −43.4 | 2.2 | 船帆 γ | 天记 | 天稷 * |
| 90 | 3685 | 9 | 13 | −69.7 | 1.7 | 船底 β | 南船五 | |







续表

| No | BS | α<br>(h)(m) | | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 91 | 3699 | 9 | 17 | −59.3 | 2.3 | 船底 ι | 海石二 | |
| 92 | 3734 | 9 | 22 | −55.0 | 2.5 | 船帆 κ | 天社五 | |
| 93 | 3748 | 9 | 27 | −8.7 | 2.0 | 长蛇 α | 星宿一 | (距)中央大星 |
| 94 | 3852 | 9 | 41 | 9.9 | 3.5 | 狮子 o | 轩辕十五 | 右角星,大民 * |
| 95 | 3873 | 9 | 45 | 23.8 | 3.0 | 狮子 ε | 轩辕九 | 第九星 |
| 96 | 3903 | 9 | 51 | −14.8 | 4.1 | 长蛇 υ1 | 张宿一 | 西第二星 * |
| 97 | 3975 | 10 | 7 | 16.8 | 3.5 | 狮子 η | 轩辕十三 | 第十三星,夫人#,第二星# |
| 98 | 3980 | 10 | 7 | 10.0 | 4.4 | 狮子 31 | 御女 | 同,女御# |
| 99 | 3982 | 10 | 8 | 12.0 | 1.4 | 狮子 α | 轩辕十四 | 大星,女主# |
| 100 | 4057 | 10 | 19 | 19.8 | 2.6 | 狮子 γ | 轩辕十二 | 第十二星 |
| 101 | 4133 | 10 | 32 | 9.3 | 3.9 | 狮子 ρ | 轩辕十六 | 左角星,少民 * |
| 102 | 4199 | 10 | 42 | −64.4 | 2.8 | 船底 θ | 南船三 | |
| 103 | 4216 | 10 | 46 | −49.4 | 2.7 | 船帆 μ | 海山增二 | |
| 104 | 4287 | 10 | 59 | −18.3 | 4.1 | 巨爵 α | 翼宿一 | (距)中央西第二星 |
| 105 | 4295 | 11 | 1 | 56.4 | 2.4 | 大熊 β | 天璇 | 同 |
| 106 | 4301 | 11 | 3 | 61.8 | 1.8 | 大熊 α | 天枢 | 同 |
| 107 | 4357 | 11 | 14 | 20.5 | 2.6 | 狮子 δ | 西上相 | 同 |
| 108 | 4386 | 11 | 21 | 6.0 | 4.1 | 狮子 σ | 西上将 | 同 |
| 109 | 4517 | 11 | 45 | 6.5 | 4.0 | 室女 ν | 内屏二 | 西南星 |
| 110 | 4534 | 11 | 49 | 14.6 | 2.1 | 狮子 β | 五帝座一 | 中星 |
| 111 | 4540 | 11 | 50 | 1.8 | 3.6 | 室女 β | 右执法 | 同 |
| 112 | 4554 | 11 | 53 | 53.7 | 2.4 | 大熊 γ | 天玑 | 同 |
| 113 | 4621 | 12 | 8 | −50.7 | 2.6 | 半人马 δ | 马尾三 | |
| 114 | 4630 | 12 | 10 | −22.6 | 3.0 | 乌鸦 ε | 轸宿二 | 西南星 |
| 115 | 4656 | 12 | 15 | −58.7 | 2.8 | 南十字 δ | 十字架四 | |
| 116 | 4662 | 12 | 15 | −17.5 | 2.6 | 乌鸦 γ | 轸宿一 | (距)西北星 |
| 117 | 4689 | 12 | 19 | −0.7 | 3.9 | 室女 η | 左执法 | 同 |
| 118 | 4730 | 12 | 26 | −63.1 | 1.3 | 南十字 α | | |
| 119 | 4757 | 12 | 29 | −16.5 | 3.0 | 乌鸦 δ | 轸宿三 | 东北星 |
| 120 | 4763 | 12 | 31 | −57.1 | 1.6 | 南十字 γ | 十字架一 | |
| 121 | 4786 | 12 | 34 | −23.4 | 2.7 | 乌鸦 β | 轸宿四 | 东南星 |
| 122 | 4798 | 12 | 37 | −69.1 | 2.7 | 苍蝇 α | 蜜蜂三 | |
| 123 | 4819 | 12 | 41 | −49.0 | 2.2 | 半人马 γ | 库楼七 | |
| 124 | 4825 | 12 | 41 | −1.4 | 3.7 | 室女 γ | 东上相 | 同 |
| 125 | 4853 | 12 | 47 | −59.7 | 1.3 | 南十字 β | 十字架三 | |




续表

| No | BS | α (h)(m) | | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 126 | 4893 | 12 | 49 | 83.4 | 5.3 | 鹿豹 | 北极天枢 | 同,北极纽星 * |
| 127 | 4905 | 12 | 54 | 56.0 | 1.8 | 大熊 ε | 玉衡 | 同 |
| 128 | 4915 | 12 | 56 | 38.3 | 2.9 | 猎犬 α | 常陈一 | 郎将 |
| 129 | 4932 | 12 | 2 | 11.0 | 2.8 | 室女 ε | 东次将 | 同 |
| 130 | 5020 | 13 | 18 | −23.2 | 3.0 | 长蛇 γ | 平一 | 西星 |
| 131 | 5028 | 13 | 20 | −36.7 | 2.8 | 半人马 ι | 柱十一 | 库楼(距)西北星 * |
| 132 | 5054 | 13 | 23 | 54.9 | 2.3 | 大熊 ζ | 开阳 | 同 |
| 133 | 5056 | 13 | 25 | −11.2 | 1.0 | 室女 α | 角宿一 | (距)南星,左角 # |
| 134 | 5132 | 13 | 39 | −53.5 | 2.3 | 半人马 ε | 南门一 | 南门 * |
| 135 | 5191 | 13 | 47 | 49.3 | 1.9 | 大熊 η | 摇光 | 同 |
| 136 | 5231 | 13 | 55 | −47.3 | 2.6 | 人马 ζ | 库楼一 | 柱 * |
| 137 | 5235 | 13 | 54 | 18.4 | 2.7 | 牧夫 η | 右摄提一 | 上星 |
| 138 | 5267 | 14 | 3 | −60.4 | 0.6 | 半人马 β | 马腹一 | |
| 139 | 5288 | 14 | 6 | −36.4 | 2.1 | 半人马 θ | 库楼三 | 库楼 * |
| 140 | 5315 | 14 | 12 | −10.3 | 4.2 | 室女 κ | 亢宿一 | (距)南第二星 |
| 141 | 5340 | 14 | 15 | 19.2 | 0.0 | 牧夫 α | 大角 | 同 |
| 142 | 5359 | 14 | 19 | −13.4 | 4.5 | 室女 λ | 亢宿四 | 南星 |
| 143 | 5440 | 14 | 35 | −42.2 | 2.3 | 半人马 η | 库楼二 | 库楼 * |
| 144 | 5459 | 14 | 39 | −60.8 | 0.0 | 半人马 α | 南门二 | |
| 145 | 5469 | 14 | 41 | −47.4 | 2.3 | 豺狼 α | 骑官十 | 骑官 * |
| 146 | 5506 | 14 | 44 | 27.1 | 2.7 | 牧夫 ε | 梗河一 | 东星 |
| 147 | 5531 | 14 | 50 | −16.0 | 2.8 | 天秤 α | 氐宿一 | (距)西南星 |
| 148 | 5563 | 14 | 50 | 74.2 | 2.1 | 小熊 β | 帝 | 同 |
| 149 | 5571 | 14 | 58 | −43.1 | 2.7 | 豺狼 β | 骑官四 | 骑官 * |
| 150 | 5652 | 15 | 12 | −19.8 | 4.5 | 天秤 ι | 氐宿二 | 东南星 |
| 151 | 5671 | 15 | 18 | −68.7 | 2.9 | 南三角 γ | 三角形一 | |
| 152 | 5685 | 15 | 17 | −9.4 | 2.6 | 天秤 β | 氐宿四 | 西北星 |
| 153 | 5776 | 15 | 35 | −41.2 | 2.8 | 豺狼 γ | 骑官一 | 骑官 * |
| 154 | 5787 | 15 | 35 | −14.8 | 3.9 | 天秤 γ | 氐宿三 | 东北星 |
| 155 | 5793 | 15 | 34 | 26.7 | 2.2 | 北冕 α | 贯索四 | 西南大星 |
| 156 | 5854 | 15 | 44 | 6.4 | 2.7 | 巨蛇 α | 蜀 | 同 |
| 157 | 5897 | 15 | 55 | −63.4 | 2.9 | 南三角 β | 三角形二 | |
| 158 | 5944 | 15 | 58 | −26.1 | 2.9 | 天蝎 π | 房宿一 | (距)南第二星 |
| 159 | 5953 | 16 | 0 | −22.6 | 2.3 | 天蝎 δ | 房宿三 | 北第二星 |
| 160 | 5984 | 16 | 5 | −19.8 | 2.6 | 天蝎 β | 房宿四 | 北第一星,上相 # |

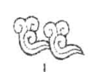






续表

| No | BS | α (h)(m) | | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 161 | 5993 | 16 | 6 | −20.7 | 4.0 | 天蝎 ω1 | 钩钤一 | 西星 |
| 162 | 6027 | 16 | 11 | −19.5 | 4.0 | 天蝎 ν | 键闭 | 同 |
| 163 | 6056 | 16 | 14 | −3.7 | 2.7 | 蛇夫 δ | 梁 | 同 |
| 164 | 6084 | 16 | 21 | −25.6 | 2.9 | 天蝎 σ | 心宿一 | (距)前星 |
| 165 | 6132 | 16 | 23 | 61.5 | 2.7 | 天龙 η | 少宰 | 同 |
| 166 | 6134 | 16 | 29 | −26.4 | 1.0 | 天蝎 α | 心宿二 | 中星,大星# |
| 167 | 6148 | 16 | 30 | 21.5 | 2.8 | 武仙 β | 河中 | 同 |
| 168 | 6165 | 16 | 35 | −28.2 | 2.8 | 天蝎 τ | 心宿三 | 后星 |
| 169 | 6175 | 16 | 37 | −10.6 | 2.6 | 蛇夫 ζ | 韩 | 同 |
| 170 | 6212 | 16 | 41 | 31.6 | 2.8 | 武仙 ζ | 天纪二 | 西第一星 |
| 171 | 6217 | 16 | 48 | −69.0 | 1.9 | 南三角 α | 三角形三 | |
| 172 | 6241 | 16 | 50 | −34.3 | 2.3 | 天蝎 ε | 尾宿二 | 西第一星 |
| 173 | 6247 | 16 | 51 | −38.0 | 3.1 | 天蝎 μ1 | 尾宿一 | (距)西第二星 |
| 174 | 6378 | 17 | 10 | −15.7 | 2.4 | 蛇夫 η | 宋 | 同 |
| 175 | 6453 | 17 | 22 | −25.0 | 3.3 | 蛇夫 θ | 天江三 | 东第三星 |
| 176 | 6461 | 17 | 25 | −55.5 | 2.9 | 天坛 β | 杵三 | |
| 177 | 6508 | 17 | 30 | −37.3 | 2.7 | 天蝎 υ | 尾宿九 | 第八星 |
| 178 | 6510 | 17 | 31 | −49.9 | 3.0 | 天坛 α | 杵二 | 龟 * |
| 179 | 6527 | 17 | 33 | −37.1 | 1.6 | 天蝎 γ | 尾宿八 | 第九星 |
| 180 | 6536 | 17 | 30 | 52.3 | 2.8 | 天龙 β | 天棓三 | 西南星 |
| 181 | 6553 | 17 | 37 | −43.0 | 1.9 | 天蝎 θ | 尾宿五 | 第五星 |
| 182 | 6556 | 17 | 34 | 12.6 | 2.1 | 蛇夫 α | 侯 | 同 |
| 183 | 6580 | 17 | 42 | −39.0 | 2.4 | 天蝎 κ | 尾宿七 | 第七星 |
| 184 | 6603 | 17 | 43 | 4.6 | 2.8 | 蛇夫 β | 宗正一 | 西星 |
| 185 | 6705 | 17 | 56 | 51.5 | 2.2 | 天龙 γ | 天棓四 | 东中星 |
| 186 | 6746 | 18 | 5 | −30.4 | 3.0 | 人马 γ | 箕宿一 | (距)西北星 |
| 187 | 6812 | 18 | 13 | −21.1 | 3.9 | 人马 μ | 斗宿三 | 柄第一星,第六星# |
| 188 | 6859 | 18 | 20 | −29.8 | 2.7 | 人马 δ | 箕宿二 | 东北星 |
| 189 | 6879 | 18 | 24 | −34.4 | 1.9 | 人马 ε | 箕宿三 | 东南星 |
| 190 | 6913 | 18 | 27 | −25.4 | 2.8 | 人马 λ | 斗宿二 | 柄第二星,第五星# |
| 191 | 7001 | 18 | 36 | 38.8 | 0.0 | 天琴 α | 织女一 | 大星 |
| 192 | 7039 | 18 | 45 | −27.0 | 3.2 | 人马 φ | 斗宿一 | (距)魁第四星,第四星# |
| 193 | 7121 | 18 | 55 | −26.3 | 2.0 | 人马 σ | 斗宿四 | 魁第三星,第三星# |
| 194 | 7150 | 18 | 57 | −21.1 | 3.5 | 人马 ξ2 | 建一 | 西第一星,西建西星# |
| 195 | 7194 | 19 | 2 | −29.9 | 2.6 | 人马 ζ | 斗宿六 | 魁第一星,第一星# |

续表

| No | BS | α (h) | (m) | δ(°) | Mg | 西名 | 仪象考成 | 古名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 196 | 7217 | 19 | 4 | −21.7 | 3.8 | 人马 ο | 建二 | 西第二星,西建中星# |
| 197 | 7234 | 19 | 6 | −27.7 | 3.3 | 人马 τ | 斗宿五 | 魁第二星,第二星# |
| 198 | 7235 | 19 | 5 | 13.9 | 3.0 | 天鹰 ζ | 吴越 | 同 |
| 199 | 7264 | 19 | 9 | −21.0 | 2.9 | 人马 π | 建三 | 西第三星,西建东星# |
| 200 | 7340 | 19 | 21 | −17.8 | 3.9 | 人马 ρ1 | 建五 | 东第二星,东建中星# |
| 201 | 7525 | 19 | 46 | 10.6 | 2.7 | 天鹰 γ | 河鼓三 | 北星 |
| 202 | 7528 | 19 | 44 | 45.1 | 2.9 | 天鹅 δ | 天津二 | 西第一星 |
| 203 | 7557 | 19 | 50 | 8.9 | 0.8 | 天鹰 α | 河鼓二 | 大星 |
| 204 | 7776 | 20 | 21 | −14.8 | 3.1 | 摩羯 β | 牛宿一 | (距)中央大星 |
| 205 | 7790 | 20 | 25 | −56.7 | 1.9 | 孔雀 α | 孔雀十一 | |
| 206 | 7796 | 20 | 22 | 40.3 | 2.2 | 天鹅 γ | 天津一 | 西第二星 |
| 207 | 7822 | 20 | 28 | −17.8 | 4.8 | 摩羯 ρ | 牛宿六 | 下左星,南星# |
| 208 | 7924 | 20 | 41 | 45.3 | 1.3 | 天鹅 α | 天津四 | 东第一星 |
| 209 | 7949 | 20 | 46 | 34.0 | 2.5 | 天鹅 ε | 天津九 | 西第三星 |
| 210 | 7950 | 20 | 47 | −9.5 | 3.8 | 宝瓶 ε | 女宿一 | (距)西南星 |
| 211 | 8162 | 21 | 18 | 62.6 | 2.4 | 仙王 α | 天钩五 | 东第六星 |
| 212 | 8232 | 21 | 31 | −5.6 | 2.9 | 宝瓶 β | 虚宿一 | (距)南星 |
| 213 | 8278 | 21 | 40 | −16.7 | 3.7 | 摩羯 γ | 垒壁阵三 | 西第一星,哭星# |
| 214 | 8308 | 21 | 44 | 9.9 | 2.4 | 飞马 ε | 危宿三 | 北星 |
| 215 | 8322 | 21 | 47 | −16.1 | 2.9 | 摩羯 δ | 垒壁阵四 | 西第四星,哭星# |
| 216 | 8414 | 22 | 5 | −0.3 | 3.0 | 宝瓶 α | 危宿一 | (距)南星 |
| 217 | 8425 | 22 | 8 | −47.0 | 1.7 | 天鹤 α | 鹤一 | 败臼* |
| 218 | 8502 | 22 | 18 | −60.3 | 2.9 | 杜鹃 α | 鸟喙一 | |
| 219 | 8636 | 22 | 42 | −46.9 | 2.1 | 天鹤 β | 鹤二 | 败臼* |
| 220 | 8650 | 22 | 43 | 30.2 | 2.9 | 飞马 η | 离宫四 | 西北第二星 |
| 221 | 8698 | 22 | 52 | −7.6 | 3.7 | 摩羯 λ | 垒壁阵七 | 中第三星 |
| 222 | 8728 | 22 | 57 | −29.6 | 1.2 | 南鱼 α | 北落师门 | 同 |
| 223 | 8775 | 23 | 3 | 28.1 | 2.4 | 飞马 β | 室宿二 | 北星 |
| 224 | 8781 | 23 | 4 | 15.2 | 2.5 | 飞马 α | 室宿一 | (距)南星 |

注:按早期凌犯记录,今名井宿一至八分别为东井南辕西头第一星,南辕西头第二星,南辕东头第二星,南辕东头第一星,北辕西头第一星,北辕西头第二星,北辕东头第二星,北辕东头第一星,与后来东扇西扇的说法不同。今名斗宿一至六分别为斗第四、第五、第六、第三、第二、第一星。早期凌犯记录得到的毕宿的左股右股与宋元星表正相反。



**表 2 224 颗恒星 4 000 年位置表**

| 历元 | 1 BS15 | | 2 BS21 | | 3 BS39 | | 4 BS98 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 313.6 | 9.1 | 319.0 | 38.8 | 312.8 | -5.0 | 179.0 | -78.8 | -2000 |
| -1800 | 316.0 | 9.9 | 321.0 | 39.7 | 315.3 | -4.2 | 181.5 | -80.0 | -1800 |
| -1600 | 318.3 | 10.8 | 322.9 | 40.6 | 317.9 | -3.4 | 184.3 | -81.1 | -1600 |
| -1400 | 320.7 | 11.6 | 324.8 | 41.5 | 320.5 | -2.5 | 187.5 | -82.3 | -1400 |
| -1200 | 323.1 | 12.5 | 326.8 | 42.4 | 323.0 | -1.6 | 191.5 | -83.4 | -1200 |
| -1000 | 325.5 | 13.4 | 328.8 | 43.3 | 325.5 | -0.7 | 196.5 | -84.6 | -1000 |
| -800 | 327.8 | 14.3 | 330.8 | 44.3 | 328.0 | 0.2 | 203.5 | -85.7 | -800 |
| -600 | 330.2 | 15.3 | 332.8 | 45.3 | 330.6 | 1.2 | 214.2 | -86.7 | -600 |
| -400 | 332.6 | 16.3 | 334.8 | 46.3 | 333.1 | 2.2 | 232.2 | -87.6 | -400 |
| -200 | 335.0 | 17.2 | 336.9 | 47.3 | 335.6 | 3.2 | 262.3 | -88.0 | -200 |
| 0 | 337.4 | 18.3 | 339.0 | 48.3 | 338.1 | 4.2 | 296.9 | -87.8 | 0 |
| 200 | 339.8 | 19.3 | 341.1 | 49.4 | 340.6 | 5.3 | 320.3 | -87.1 | 200 |
| 400 | 342.2 | 20.4 | 343.2 | 50.4 | 343.1 | 6.4 | 333.8 | -86.2 | 400 |
| 600 | 344.6 | 21.4 | 345.4 | 51.5 | 345.6 | 7.4 | 342.3 | -85.1 | 600 |
| 800 | 347.0 | 22.5 | 347.7 | 52.6 | 348.1 | 8.5 | 348.1 | -84.0 | 800 |
| 1000 | 349.5 | 23.6 | 349.9 | 53.6 | 350.6 | 9.6 | 352.6 | -82.9 | 1000 |
| 1200 | 352.0 | 24.7 | 352.3 | 54.7 | 353.1 | 10.7 | 356.1 | -81.8 | 1200 |
| 1400 | 354.5 | 25.8 | 354.7 | 55.8 | 355.6 | 11.8 | 359.2 | -80.6 | 1400 |
| 1600 | 357.0 | 26.9 | 357.1 | 56.9 | 358.2 | 13.0 | 1.8 | -79.5 | 1600 |
| 1800 | 359.5 | 28.0 | 359.7 | 58.0 | 0.7 | 14.1 | 4.2 | -78.4 | 1800 |
| 2000 | 2.1 | 29.1 | 2.3 | 59.2 | 3.3 | 15.2 | 6.4 | -77.3 | 2000 |

| 历元 | 5 BS99 | | 6 BS168 | | 7 BS188 | | 8 BS215 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 303.1 | -61.6 | 324.0 | 35.4 | 315.9 | -38.8 | 321.9 | 3.2 | -2000 |
| -1800 | 307.3 | -61.0 | 326.0 | 36.3 | 319.0 | -38.0 | 324.4 | 4.1 | -1800 |
| -1600 | 311.3 | -60.3 | 328.1 | 37.3 | 322.1 | -37.1 | 326.8 | 5.0 | -1600 |
| -1400 | 315.3 | -59.6 | 330.1 | 38.2 | 325.1 | -36.2 | 329.3 | 6.0 | -1400 |
| -1200 | 319.1 | -58.8 | 332.3 | 39.2 | 328.1 | -35.3 | 331.7 | 7.0 | -1200 |
| -1000 | 322.7 | -57.9 | 334.3 | 40.2 | 331.0 | -34.3 | 334.1 | 8.0 | -1000 |
| -800 | 326.3 | -57.0 | 336.4 | 41.2 | 333.9 | -33.3 | 336.6 | 9.0 | -800 |
| -600 | 329.7 | -56.1 | 338.6 | 42.3 | 336.8 | -32.3 | 339.0 | 10.0 | -600 |
| -400 | 333.1 | -55.1 | 340.7 | 43.3 | 339.6 | -31.2 | 341.5 | 11.1 | -400 |
| -200 | 336.3 | -54.1 | 342.9 | 44.4 | 342.3 | -30.2 | 343.9 | 12.1 | -200 |
| 0 | 339.4 | -53.1 | 345.1 | 45.5 | 345.0 | -29.1 | 346.4 | 13.2 | 0 |
| 200 | 342.4 | -52.1 | 347.4 | 46.6 | 347.7 | -28.0 | 348.9 | 14.3 | 200 |
| 400 | 345.4 | -51.0 | 349.7 | 47.7 | 350.4 | -26.9 | 351.3 | 15.4 | 400 |
| 600 | 348.2 | -49.9 | 352.0 | 48.8 | 353.0 | -25.8 | 353.8 | 16.5 | 600 |
| 800 | 351.0 | -48.9 | 354,4 | 49.9 | 355.6 | -24.7 | 356.3 | 17.6 | 800 |
| 1000 | 353.7 | -47.8 | 356.9 | 51.0 | 358.2 | -23.6 | 358.9 | 18.7 | 1000 |
| 1200 | 356.4 | -46.7 | 359.4 | 52.1 | 0.8 | -22.4 | 1.4 | 19.9 | 1200 |
| 1400 | 359.0 | -45.6 | 1.9 | 53.2 | 3.3 | -21.3 | 4.0 | 21.0 | 1400 |
| 1600 | 1.6 | -44.5 | 4.6 | 54.3 | 5.9 | -20.2 | 6.6 | 22.1 | 1600 |
| 1800 | 4.1 | -43.4 | 7.3 | 55.4 | 8.4 | -19.1 | 9.2 | 23.2 | 1800 |
| 2000 | 6.6 | -42.3 | 10.1 | 56.5 | 10.9 | -18.0 | 11.8 | 24.3 | 2000 |




| 历元 | 9 BS264 | | 10 BS271 | | 11 BS337 | | 12 BS403 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 327.2 | 39.3 | 324.0 | 2.1 | 327.4 | 14.2 | 331.6 | 38.6 | −2000 |
| −1800 | 329.2 | 40.2 | 326.5 | 3.1 | 329.7 | 15.2 | 333.7 | 39.6 | −1800 |
| −1600 | 331.2 | 41.2 | 329.0 | 4.0 | 332.1 | 16.2 | 335.8 | 40.6 | −1600 |
| −1400 | 333.3 | 42.2 | 331.4 | 5.0 | 334.4 | 17.2 | 337.9 | 41.7 | −1400 |
| −1200 | 335.3 | 43.2 | 333.9 | 6.0 | 336.8 | 18.2 | 340.1 | 42.7 | −1200 |
| −1000 | 337.4 | 44.3 | 336.3 | 7.0 | 339.2 | 19.2 | 342.2 | 43.8 | −1000 |
| −800 | 339.5 | 45.3 | 338.8 | 8.1 | 341.6 | 20.3 | 344.5 | 44.9 | −800 |
| −600 | 341.7 | 46.4 | 341.3 | 9.1 | 344.0 | 21.3 | 346.7 | 46.0 | −600 |
| −400 | 343.8 | 47.5 | 343.7 | 10.2 | 346.4 | 22.4 | 349.0 | 47.0 | −400 |
| −200 | 346.0 | 48.5 | 346.2 | 11.3 | 348.8 | 23.5 | 351.3 | 48.2 | −200 |
| 0 | 348.3 | 49.6 | 348.7 | 12.4 | 351.3 | 24.6 | 353.7 | 49.3 | 0 |
| 200 | 350.6 | 50.7 | 351.2 | 13.5 | 353.8 | 25.7 | 356.1 | 50.4 | 200 |
| 400 | 352.9 | 51.8 | 353.7 | 14.6 | 356.3 | 26.8 | 358.6 | 51.5 | 400 |
| 600 | 355.3 | 53.0 | 356.2 | 15.7 | 358.8 | 28.0 | 1.2 | 52.6 | 600 |
| 800 | 357.8 | 54.1 | 358.7 | 16.8 | 1.3 | 29.1 | 3.8 | 53.7 | 800 |
| 1000 | 0.3 | 55.2 | 1.2 | 17.9 | 3.9 | 30.2 | 6.5 | 54.8 | 1000 |
| 1200 | 2.9 | 56.3 | 3.8 | 19.0 | 6.5 | 31.3 | 9.3 | 56.0 | 1200 |
| 1400 | 5.5 | 57.4 | 6.4 | 20.1 | 9.2 | 32.4 | 12.1 | 57.0 | 1400 |
| 1600 | 8.3 | 58.5 | 9.0 | 21.2 | 11.9 | 33.5 | 15.1 | 58.1 | 1600 |
| 1800 | 11.2 | 59.6 | 11.6 | 22.3 | 14.6 | 34.6 | 18.2 | 59.2 | 1800 |
| 2000 | 14.2 | 60.7 | 14.3 | 23.4 | 17.4 | 35.6 | 21.4 | 60.2 | 2000 |

| 历元 | 13 BS424 | | 14 BS472 | | 15 BS553 | | 16 BS591 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 334.9 | 67.6 | 330.3 | −78.9 | 337.1 | −0.8 | 349.0 | −83.2 | −2000 |
| −1800 | 336.3 | 68.6 | 335.4 | −77.9 | 339.6 | 0.3 | 352.9 | −82.0 | −1800 |
| −1600 | 337.6 | 69.6 | 339.8 | −76.9 | 342.1 | 1.3 | 356.2 | −80.9 | −1600 |
| −1400 | 339.0 | 70.7 | 343.8 | −75.8 | 344.6 | 2.4 | 359.0 | −79.8 | −1400 |
| −1200 | 340.3 | 71.7 | 347.4 | −74.7 | 347.1 | 3.5 | 1.5 | −78.6 | −1200 |
| −1000 | 341.7 | 72.8 | 350.7 | −73.6 | 349.6 | 4.6 | 3.8 | −77.5 | −1000 |
| −800 | 343.1 | 73.9 | 353.7 | −72.5 | 352.1 | 5.7 | 6.0 | −76.4 | −800 |
| −600 | 344.5 | 75.0 | 356.5 | −71.4 | 354.7 | 6.8 | 8.0 | −75.3 | −600 |
| −400 | 345.9 | 76.0 | 359.2 | −70.2 | 357.2 | 7.9 | 9.9 | −74.2 | −400 |
| −200 | 347.3 | 77.1 | 1.7 | −69.1 | 359.7 | 9.1 | 11.7 | −73.0 | −200 |
| 0 | 348.8 | 78.2 | 4.1 | −68.0 | 2.2 | 10.2 | 13.5 | −71.9 | 0 |
| 200 | 350.3 | 79.3 | 6.4 | −66.9 | 4.8 | 11.3 | 15.2 | −70.9 | 200 |
| 400 | 351.9 | 80.4 | 8.6 | −65.8 | 7.4 | 12.4 | 16.9 | −69.8 | 400 |
| 600 | 353.5 | 81.6 | 10.7 | −64.7 | 9.9 | 13.5 | 18.6 | −68.7 | 600 |
| 800 | 355.3 | 82.7 | 12.8 | −63.6 | 12.5 | 14.6 | 20.2 | −67.6 | 800 |
| 1000 | 357.2 | 83.8 | 14.8 | −62.5 | 15.2 | 15.7 | 21.8 | −66.6 | 1000 |
| 1200 | 359.4 | 84.9 | 16.8 | −61.4 | 17.8 | 16.7 | 23.4 | −65.6 | 1200 |
| 1400 | 2.2 | 86.0 | 18.8 | −60.3 | 20.5 | 17.8 | 25.0 | −64.5 | 1400 |
| 1600 | 6.0 | 87.1 | 20.7 | −59.3 | 23.2 | 18.8 | 26.6 | −63.5 | 1600 |
| 1800 | 13.2 | 88.2 | 22.6 | −58.3 | 25.9 | 19.8 | 28.1 | −62.5 | 1800 |
| 2000 | 38.0 | 89.3 | 24.4 | −57.2 | 28.7 | 20.8 | 29.7 | −61.6 | 2000 |







| 历元 | 17 BS603 | | 18 BS617 | | 19 BS622 | | 20 BS801 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 338.6 | 20.7 | 339.8 | 2.0 | 339.9 | 13.4 | 347.9 | 6.6 | −2000 |
| −1800 | 340.9 | 21.8 | 342.3 | 3.1 | 342.4 | 14.5 | 350.4 | 7.8 | −1800 |
| −1600 | 343.3 | 22.9 | 344.8 | 4.1 | 344.8 | 15.6 | 352.9 | 8.9 | −1600 |
| −1400 | 345.7 | 23.9 | 347.3 | 5.2 | 347.2 | 16.7 | 355.4 | 10.0 | −1400 |
| −1200 | 348.1 | 25.0 | 349.8 | 6.3 | 349.7 | 17.8 | 357.9 | 11.1 | −1200 |
| −1000 | 350.5 | 26.1 | 352.3 | 7.4 | 352.1 | 18.9 | 0.4 | 12.3 | −1000 |
| −800 | 352.9 | 27.3 | 354.8 | 8.5 | 354.6 | 20.0 | 2.9 | 13.4 | −800 |
| −600 | 355.4 | 28.4 | 357.4 | 9.7 | 357.1 | 21.1 | 5.4 | 14.5 | −600 |
| −400 | 357.9 | 29.5 | 359.9 | 10.8 | 359.6 | 22.2 | 8.0 | 15.6 | −400 |
| −200 | 0.4 | 30.6 | 2.4 | 11.9 | 2.2 | 23.4 | 10.6 | 16.7 | −200 |
| 0 | 3.0 | 31.7 | 5.0 | 13.0 | 4.7 | 24.5 | 13.2 | 17.8 | 0 |
| 200 | 5.5 | 32.9 | 7.6 | 14.1 | 7.3 | 25.6 | 15.8 | 18.9 | 200 |
| 400 | 8.2 | 34.0 | 10.1 | 15.2 | 10.0 | 26.7 | 18.5 | 20.0 | 400 |
| 600 | 10.8 | 35.1 | 12.8 | 16.3 | 12.6 | 27.8 | 21.1 | 21.0 | 600 |
| 800 | 13.6 | 36.2 | 15.4 | 17.4 | 15.3 | 28.9 | 23.9 | 22.1 | 800 |
| 1000 | 16.3 | 37.2 | 18.1 | 18.4 | 18.1 | 30.0 | 26.6 | 23.1 | 1000 |
| 1200 | 19.1 | 38.3 | 20.7 | 19.5 | 20.8 | 31.0 | 29.4 | 24.1 | 1200 |
| 1400 | 22.0 | 39.3 | 23.5 | 20.5 | 23.6 | 32.0 | 32.2 | 25.0 | 1400 |
| 1600 | 24.9 | 40.4 | 26.2 | 21.5 | 26.5 | 33.1 | 35.0 | 26.0 | 1600 |
| 1800 | 27.9 | 41.4 | 29.0 | 22.5 | 29.4 | 34.0 | 37.9 | 26.8 | 1800 |
| 2000 | 31.0 | 42.3 | 31.8 | 23.5 | 32.4 | 35.0 | 40.9 | 27.7 | 2000 |

| 历元 | 21 BS911 | | 22 BS915 | | 23 BS936 | | 24 BS1017 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 355.1 | −16.2 | 348.8 | 32.7 | 351.5 | 20.4 | 353.0 | 29.7 | −2000 |
| −1800 | 357.6 | −15.1 | 351.2 | 33.8 | 353.9 | 21.5 | 355.4 | 30.8 | −1800 |
| −1600 | 0.2 | −14.0 | 353.6 | 35.0 | 356.4 | 22.6 | 357.9 | 31.9 | −1600 |
| −1400 | 2.7 | −12.9 | 356.0 | 36.1 | 358.9 | 23.8 | 0.4 | 33.0 | −1400 |
| −1200 | 5.1 | −11.7 | 358.5 | 37.2 | 1.4 | 24.9 | 2.9 | 34.2 | −1200 |
| −1000 | 7.6 | −10.6 | 1.0 | 38.3 | 4.0 | 26.0 | 5.5 | 35.3 | −1000 |
| −800 | 10.1 | −9.5 | 3.5 | 39.5 | 6.5 | 27.1 | 8.1 | 36.4 | −800 |
| −600 | 12.6 | −8.4 | 6.2 | 40.6 | 9.1 | 28.3 | 10.8 | 37.5 | −600 |
| −400 | 15.1 | −7.3 | 8.8 | 41.7 | 11.8 | 29.4 | 13.5 | 38.6 | −400 |
| −200 | 17.6 | −6.3 | 11.5 | 42.8 | 14.4 | 30.5 | 16.2 | 39.7 | −200 |
| 0 | 20.1 | −5.2 | 14.3 | 43.9 | 17.2 | 31.5 | 19.1 | 40.8 | 0 |
| 200 | 22.6 | −4.2 | 17.1 | 45.0 | 19.9 | 32.6 | 21.9 | 41.8 | 200 |
| 400 | 25.1 | −3.1 | 20.0 | 46.0 | 22.7 | 33.7 | 24.9 | 42.8 | 400 |
| 600 | 27.6 | −2.1 | 23.0 | 47.1 | 25.6 | 34.7 | 27.9 | 43.8 | 600 |
| 800 | 30.1 | −1.2 | 26.0 | 48.1 | 28.5 | 35.7 | 31.0 | 44.8 | 800 |
| 1000 | 32.7 | −0.2 | 29.2 | 49.1 | 31.4 | 36.6 | 34.1 | 45.8 | 1000 |
| 1200 | 35.2 | 0.7 | 32.4 | 50.1 | 34.4 | 37.6 | 37.4 | 46.7 | 1200 |
| 1400 | 37.8 | 1.6 | 35.7 | 51.0 | 37.5 | 38.5 | 40.7 | 47.5 | 1400 |
| 1600 | 40.4 | 2.5 | 39.1 | 51.9 | 40.6 | 39.4 | 44.1 | 48.4 | 1600 |
| 1800 | 43.0 | 3.3 | 42.6 | 52.7 | 43.8 | 40.2 | 47.5 | 49.1 | 1800 |
| 2000 | 45.6 | 4.1 | 46.2 | 53.5 | 47.0 | 41.0 | 51.1 | 49.9 | 2000 |





| 历元 | 25 | BS1142 | 26 | BS1165 | 27 | BS1203 | 28 | BS1220 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 2.1 | 5.1 | 2.7 | 5.2 | 2.6 | 13.1 | 1.6 | 21.2 | -2000 |
| -1800 | 4.7 | 6.2 | 5.2 | 6.3 | 5.2 | 14.2 | 4.1 | 22.3 | -1800 |
| -1600 | 7.2 | 7.4 | 7.8 | 7.5 | 7.7 | 15.3 | 6.7 | 23.5 | -1600 |
| -1400 | 9.7 | 8.5 | 10.3 | 8.6 | 10.3 | 16.5 | 9.3 | 24.6 | -1400 |
| -1200 | 12.3 | 9.6 | 12.9 | 9.7 | 12.9 | 17.6 | 11.9 | 25.7 | -1200 |
| -1000 | 14.8 | 10.7 | 15.4 | 10.8 | 15.5 | 18.7 | 14.5 | 26.8 | -1000 |
| -800 | 17.4 | 11.7 | 18.0 | 11.8 | 18.1 | 19.7 | 17.2 | 27.9 | -800 |
| -600 | 20.0 | 12.8 | 20.6 | 12.9 | 20.7 | 20.8 | 19.9 | 28.9 | -600 |
| -400 | 22.6 | 13.9 | 23.2 | 13.9 | 23.4 | 21.8 | 22.7 | 30.0 | -400 |
| -200 | 25.3 | 14.9 | 25.9 | 15.0 | 26.2 | 22.9 | 25.5 | 31.0 | -200 |
| 0 | 27.9 | 15.9 | 28.6 | 16.0 | 28.9 | 23.8 | 28.3 | 32.0 | 0 |
| 200 | 30.6 | 16.9 | 31.3 | 16.9 | 31.7 | 24.8 | 31.2 | 33.0 | 200 |
| 400 | 33.4 | 17.8 | 34.0 | 17.9 | 34.5 | 25.8 | 34.1 | 33.9 | 400 |
| 600 | 36.1 | 18.7 | 36.7 | 18.8 | 37.4 | 26.7 | 37.1 | 34.8 | 600 |
| 800 | 38.9 | 19.6 | 39.5 | 19.7 | 40.3 | 27.5 | 40.1 | 35.7 | 800 |
| 1000 | 41.7 | 20.5 | 42.3 | 20.5 | 43.2 | 28.4 | 43.2 | 36.5 | 1000 |
| 1200 | 44.5 | 21.3 | 45.2 | 21.3 | 46.2 | 29.2 | 46.4 | 37.3 | 1200 |
| 1400 | 47.4 | 22.1 | 48.1 | 22.1 | 49.2 | 29.9 | 49.6 | 38.1 | 1400 |
| 1600 | 50.3 | 22.8 | 51.0 | 22.8 | 52.3 | 30.6 | 52.8 | 38.8 | 1600 |
| 1800 | 53.3 | 23.5 | 53.9 | 23.5 | 55.4 | 31.3 | 56.1 | 39.4 | 1800 |
| 2000 | 56.2 | 24.1 | 56.9 | 24.1 | 58.5 | 31.9 | 59.5 | 40.0 | 2000 |

| 历元 | 29 | BS1231 | 30 | BS1346 | 31 | BS1373 | 32 | BS1409 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 13.5 | -31.0 | 11.9 | -1.5 | 12.1 | 0.5 | 13.1 | 2.5 | -2000 |
| -1800 | 15.8 | -29.9 | 14.4 | -0.4 | 14.7 | 1.6 | 15.6 | 3.6 | -1800 |
| -1600 | 18.2 | -28.8 | 16.9 | 0.7 | 17.2 | 2.7 | 18.1 | 4.6 | -1600 |
| -1400 | 20.5 | -27.8 | 19.4 | 1.8 | 19.7 | 3.8 | 20.7 | 5.7 | -1400 |
| -1200 | 22.8 | -26.7 | 21.9 | 2.8 | 22.3 | 4.9 | 23.2 | 6.8 | -1200 |
| -1000 | 25.1 | -25.7 | 24.5 | 3.9 | 24.8 | 5.9 | 25.8 | 7.8 | -1000 |
| -800 | 27.4 | -24.7 | 27.1 | 4.9 | 27.4 | 6.9 | 28.4 | 8.8 | -800 |
| -600 | 29.6 | -23.7 | 29.6 | 5.9 | 30.0 | 7.9 | 31.0 | 9.8 | -600 |
| -400 | 31.9 | -22.7 | 32.2 | 6.8 | 32.6 | 8.8 | 33.7 | 10.7 | -400 |
| -200 | 34.2 | -21.8 | 34.8 | 7.8 | 35.3 | 9.8 | 36.3 | 11.6 | -200 |
| 0 | 36.5 | -20.9 | 37.5 | 8.7 | 37.9 | 10.7 | 39.0 | 12.5 | 0 |
| 200 | 38.8 | -20.0 | 40.1 | 9.5 | 40.6 | 11.5 | 41.7 | 13.4 | 200 |
| 400 | 41.0 | -19.2 | 42.8 | 10.4 | 43.3 | 12.4 | 44.5 | 14.2 | 400 |
| 600 | 43.3 | -18.3 | 45.5 | 11.2 | 46.0 | 13.2 | 47.2 | 15.0 | 600 |
| 800 | 45.6 | -17.5 | 48.2 | 12.0 | 48.8 | 13.9 | 50.0 | 15.7 | 800 |
| 1000 | 47.9 | -16.8 | 50.9 | 12.7 | 51.5 | 14.6 | 52.8 | 16.4 | 1000 |
| 1200 | 50.2 | -16.1 | 53.7 | 13.4 | 54.3 | 15.3 | 55.6 | 17.1 | 1200 |
| 1400 | 52.5 | -15.4 | 56.5 | 14.0 | 57.2 | 15.9 | 58.5 | 17.7 | 1400 |
| 1600 | 54.9 | -14.7 | 59.3 | 14.6 | 60.0 | 16.5 | 61.3 | 18.2 | 1600 |
| 1800 | 57.2 | -14.1 | 62.1 | 15.1 | 62.9 | 17.1 | 64.2 | 18.7 | 1800 |
| 2000 | 59.5 | -13.5 | 65.0 | 15.6 | 65.7 | 17.5 | 67.2 | 19.2 | 2000 |







| 历元 | 33 BS1412 | | 34 BS1457 | | 35 BS1577 | | 36 BS1605 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 13.9 | −0.8 | 15.4 | 0.5 | 15.6 | 17.6 | 13.1 | 28.1 | −2000 |
| −1800 | 16.4 | 0.3 | 17.9 | 1.6 | 18.2 | 18.7 | 15.8 | 29.2 | −1800 |
| −1600 | 18.9 | 1.4 | 20.5 | 2.6 | 20.9 | 19.8 | 18.5 | 30.2 | −1600 |
| −1400 | 21.5 | 2.5 | 23.0 | 3.7 | 23.5 | 20.8 | 21.2 | 31.3 | −1400 |
| −1200 | 24.0 | 3.5 | 25.5 | 4.7 | 26.2 | 21.9 | 24.0 | 32.3 | −1200 |
| −1000 | 26.5 | 4.5 | 28.1 | 5.7 | 29.0 | 22.9 | 26.8 | 33.4 | −1000 |
| −800 | 29.1 | 5.5 | 30.7 | 6.6 | 31.7 | 23.8 | 29.7 | 34.4 | −800 |
| −600 | 31.7 | 6.5 | 33.3 | 7.6 | 34.5 | 24.8 | 32.6 | 35.3 | −600 |
| −400 | 34.3 | 7.4 | 35.9 | 8.5 | 37.4 | 25.7 | 35.6 | 36.3 | −400 |
| −200 | 36.9 | 8.4 | 38.6 | 9.4 | 40.2 | 26.6 | 38.6 | 37.2 | −200 |
| 0 | 39.6 | 9.2 | 41.2 | 10.2 | 43.1 | 27.4 | 41.7 | 38.0 | 0 |
| 200 | 42.2 | 10.1 | 43.9 | 11.1 | 46.1 | 28.2 | 44.9 | 38.8 | 200 |
| 400 | 44.9 | 10.9 | 46.6 | 11.8 | 49.1 | 28.9 | 48.0 | 39.6 | 400 |
| 600 | 47.6 | 11.7 | 49.3 | 12.6 | 52.1 | 29.7 | 51.3 | 40.3 | 600 |
| 800 | 50.4 | 12.4 | 52.1 | 13.3 | 55.2 | 30.3 | 54.6 | 41.0 | 800 |
| 1000 | 53.1 | 13.1 | 54.8 | 13.9 | 58.3 | 30.9 | 58.0 | 41.6 | 1000 |
| 1200 | 55.9 | 13.7 | 57.6 | 14.5 | 61.4 | 31.5 | 61.4 | 42.2 | 1200 |
| 1400 | 58.7 | 14.4 | 60.4 | 15.1 | 64.6 | 32.0 | 64.9 | 42.7 | 1400 |
| 1600 | 61.5 | 14.9 | 63.3 | 15.6 | 67.8 | 32.4 | 68.4 | 43.1 | 1600 |
| 1800 | 64.3 | 15.4 | 66.1 | 16.1 | 71.0 | 32.8 | 71.9 | 43.5 | 1800 |
| 2000 | 67.2 | 15.9 | 69.0 | 16.5 | 74.3 | 33.2 | 75.5 | 43.8 | 2000 |

| 历元 | 37 BS1666 | | 38 BS1708 | | 39 BS1713 | | 40 BS1790 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 29.4 | −18.2 | 14.8 | 31.4 | 32.0 | −20.7 | 30.0 | −6.0 | −2000 |
| −1800 | 31.7 | −17.2 | 17.5 | 32.5 | 34.3 | −19.8 | 32.4 | −5.1 | −1800 |
| −1600 | 34.0 | −16.2 | 20.3 | 33.5 | 36.6 | −18.9 | 34.9 | −4.1 | −1600 |
| −1400 | 36.4 | −15.3 | 23.1 | 34.6 | 38.8 | −18.0 | 37.3 | −3.2 | −1400 |
| −1200 | 38.7 | −14.4 | 26.0 | 35.6 | 41.1 | −17.1 | 39.8 | −2.3 | −1200 |
| −1000 | 41.0 | −13.6 | 28.9 | 36.5 | 43.4 | −16.3 | 42.3 | −1.5 | −1000 |
| −800 | 43.4 | −12.8 | 31.8 | 37.5 | 45.7 | −15.5 | 44.8 | −0.7 | −800 |
| −600 | 45.7 | −12.0 | 34.8 | 38.4 | 48.0 | −14.7 | 47.3 | 0.1 | −600 |
| −400 | 48.0 | −11.2 | 37.9 | 39.3 | 50.3 | −14.0 | 49.9 | 0.8 | −400 |
| −200 | 50.4 | −10.5 | 41.1 | 40.1 | 52.6 | −13.3 | 52.4 | 1.5 | −200 |
| 0 | 52.8 | −9.8 | 44.2 | 40.9 | 55.0 | −12.6 | 55.0 | 2.2 | 0 |
| 200 | 55.2 | −9.1 | 47.5 | 41.7 | 57.3 | −12.0 | 57.5 | 2.8 | 200 |
| 400 | 57.5 | −8.5 | 50.8 | 42.4 | 59.6 | −11.4 | 60.1 | 3.4 | 400 |
| 600 | 59.9 | −7.9 | 54.2 | 43.1 | 62.0 | −10.8 | 62.7 | 3.9 | 600 |
| 800 | 62.3 | −7.4 | 57.6 | 43.7 | 64.3 | −10.3 | 65.3 | 4.4 | 800 |
| 1000 | 64.8 | −6.9 | 61.1 | 44.2 | 66.7 | −9.9 | 68.0 | 4.9 | 1000 |
| 1200 | 67.2 | −6.4 | 64.6 | 44.7 | 69.1 | −9.4 | 70.6 | 5.3 | 1200 |
| 1400 | 69.6 | −6.0 | 68.2 | 45.1 | 71.4 | −9.1 | 73.3 | 5.6 | 1400 |
| 1600 | 72.1 | −5.7 | 71.8 | 45.5 | 73.8 | −8.7 | 75.9 | 5.9 | 1600 |
| 1800 | 74.5 | −5.4 | 75.5 | 45.8 | 76.2 | −8.4 | 78.6 | 6.2 | 1800 |
| 2000 | 77.0 | −5.1 | 79.2 | 46.0 | 78.6 | −8.2 | 81.3 | 6.3 | 2000 |





| 历元 | 41 BS1791 | | 42 BS1829 | | 43 BS1852 | | 44 BS1865 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 23.2 | 15.4 | 40.2 | −31.3 | 33.7 | −11.8 | 40.1 | −28.3 | −2000 |
| −1800 | 25.9 | 16.4 | 42.2 | −30.5 | 36.1 | −10.9 | 42.3 | −27.5 | −1800 |
| −1600 | 28.5 | 17.4 | 44.3 | −29.7 | 38.5 | −10.0 | 44.4 | −26.6 | −1600 |
| −1400 | 31.2 | 18.4 | 46.4 | −28.9 | 40.9 | −9.2 | 46.5 | −25.8 | −1400 |
| −1200 | 33.9 | 19.3 | 48.4 | −28.1 | 43.3 | −8.3 | 48.6 | −25.1 | −1200 |
| −1000 | 36.7 | 20.2 | 50.5 | −27.4 | 45.7 | −7.5 | 50.7 | −24.4 | −1000 |
| −800 | 39.5 | 21.1 | 52.6 | −26.7 | 48.1 | −6.7 | 52.8 | −23.7 | −800 |
| −600 | 42.3 | 21.9 | 54.6 | −26.0 | 50.5 | −6.0 | 55.0 | −23.0 | −600 |
| −400 | 45.1 | 22.7 | 56.7 | −25.4 | 52.9 | −5.3 | 57.1 | −22.4 | −400 |
| −200 | 48.0 | 23.5 | 58.8 | −24.8 | 55.4 | −4.7 | 59.2 | −21.8 | −200 |
| 0 | 50.9 | 24.2 | 60.9 | −24.3 | 57.8 | −4.0 | 61.4 | −21.2 | 0 |
| 200 | 53.9 | 24.9 | 63.0 | −23.7 | 60.3 | −3.5 | 63.5 | −20.7 | 200 |
| 400 | 56.9 | 25.5 | 65.1 | −23.2 | 62.8 | −2.9 | 65.7 | −20.2 | 400 |
| 600 | 59.9 | 26.1 | 67.2 | −22.8 | 65.3 | −2.4 | 67.9 | −19.8 | 600 |
| 800 | 62.9 | 26.6 | 69.3 | −22.4 | 67.8 | −2.0 | 70.0 | −19.4 | 800 |
| 1000 | 65.9 | 27.1 | 71.4 | −22.0 | 70.3 | −1.6 | 72.2 | −19.0 | 1000 |
| 1200 | 69.0 | 27.5 | 73.5 | −21.7 | 72.8 | −1.2 | 74.4 | −18.7 | 1200 |
| 1400 | 72.1 | 27.9 | 75.6 | −21.4 | 75.4 | −0.9 | 76.6 | −18.4 | 1400 |
| 1600 | 75.3 | 28.2 | 77.8 | −21.1 | 77.9 | −0.7 | 78.8 | −18.2 | 1600 |
| 1800 | 78.4 | 28.4 | 79.9 | −20.9 | 80.4 | −0.5 | 81.0 | −18.0 | 1800 |
| 2000 | 81.6 | 28.6 | 82.1 | −20.8 | 83.0 | −0.3 | 83.2 | −17.8 | 2000 |

| 历元 | 45 BS1876 | | 46 BS1879 | | 47 BS1899 | | 48 BS1903 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 31.3 | −2.3 | 31.2 | −1.9 | 36.4 | −16.9 | 35.0 | −12.4 | −2000 |
| −1800 | 33.8 | −1.4 | 33.7 | −0.9 | 38.7 | −16.0 | 37.4 | −11.5 | −1800 |
| −1600 | 36.3 | −0.5 | 36.2 | −0.0 | 41.0 | −15.1 | 39.8 | −10.6 | −1600 |
| −1400 | 38.8 | 0.4 | 38.7 | 0.9 | 43.3 | −14.3 | 42.1 | −9.7 | −1400 |
| −1200 | 41.3 | 1.3 | 41.2 | 1.7 | 45.7 | −13.5 | 44.5 | −8.9 | −1200 |
| −1000 | 43.8 | 2.1 | 43.8 | 2.6 | 48.0 | −12.7 | 46.9 | −8.1 | −1000 |
| −800 | 46.4 | 2.9 | 46.3 | 3.4 | 50.3 | −12.0 | 49.3 | −7.4 | −800 |
| −600 | 48.9 | 3.7 | 48.9 | 4.1 | 52.7 | −11.3 | 51.7 | −6.6 | −600 |
| −400 | 51.5 | 4.4 | 51.5 | 4.9 | 55.0 | −10.6 | 54.2 | −6.0 | −400 |
| −200 | 54.1 | 5.1 | 54.1 | 5.5 | 57.4 | −10.0 | 56.6 | −5.3 | −200 |
| 0 | 56.8 | 5.7 | 56.7 | 6.2 | 59.7 | −9.4 | 59.0 | −4.7 | 0 |
| 200 | 59.4 | 6.3 | 59.4 | 6.8 | 62.1 | −8.8 | 61.5 | −4.2 | 200 |
| 400 | 62.0 | 6.9 | 62.0 | 7.3 | 64.5 | −8.3 | 64.0 | −3.7 | 400 |
| 600 | 64.7 | 7.4 | 64.7 | 7.8 | 66.9 | −7.9 | 66.5 | −3.2 | 600 |
| 800 | 67.4 | 7.8 | 67.4 | 8.3 | 69.3 | −7.5 | 68.9 | −2.8 | 800 |
| 1000 | 70.1 | 8.2 | 70.1 | 8.7 | 71.7 | −7.1 | 71.4 | −2.4 | 1000 |
| 1200 | 72.8 | 8.6 | 72.8 | 9.0 | 74.1 | −6.8 | 73.9 | −2.1 | 1200 |
| 1400 | 75.5 | 8.9 | 75.5 | 9.3 | 76.5 | −6.5 | 76.5 | −1.8 | 1400 |
| 1600 | 78.2 | 9.1 | 78.3 | 9.6 | 79.0 | −6.2 | 79.0 | −1.5 | 1600 |
| 1800 | 81.0 | 9.3 | 81.0 | 9.8 | 81.4 | −6.1 | 81.5 | −1.3 | 1800 |
| 2000 | 83.7 | 9.5 | 83.8 | 9.9 | 83.9 | −5.9 | 84.1 | −1.2 | 2000 |






| 历元 | 49 BS1910 | | 50 BS1948 | | 51 BS1956 | | 52 BS2004 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 28.2 | 9.0 | 36.4 | −12.7 | 49.7 | −42.6 | 40.8 | −19.4 | −2000 |
| −1800 | 30.8 | 9.9 | 38.7 | −11.8 | 51.4 | −41.9 | 43.0 | −18.6 | −1800 |
| −1600 | 33.4 | 10.9 | 41.1 | −10.9 | 53.1 | −41.2 | 45.3 | −17.7 | −1600 |
| −1400 | 36.1 | 11.8 | 43.5 | −10.1 | 54.9 | −40.6 | 47.5 | −17.0 | −1400 |
| −1200 | 38.7 | 12.7 | 45.8 | −9.3 | 56.6 | −39.9 | 49.8 | −16.2 | −1200 |
| −1000 | 41.4 | 13.6 | 48.2 | −8.5 | 58.3 | −39.3 | 52.1 | −15.5 | −1000 |
| −800 | 44.1 | 14.4 | 50.6 | −7.8 | 60.0 | −38.8 | 54.3 | −14.8 | −800 |
| −600 | 46.9 | 15.2 | 53.0 | −7.1 | 61.8 | −38.2 | 56.6 | −14.2 | −600 |
| −400 | 49.6 | 15.9 | 55.4 | −6.4 | 63.5 | −37.7 | 58.9 | −13.6 | −400 |
| −200 | 52.4 | 16.6 | 57.9 | −5.8 | 65.3 | −37.2 | 61.2 | −13.0 | −200 |
| 0 | 55.2 | 17.3 | 60.3 | −5.2 | 67.0 | −36.8 | 63.5 | −12.5 | 0 |
| 200 | 58.0 | 17.9 | 62.8 | −4.7 | 68.8 | −36.3 | 65.8 | −12.0 | 200 |
| 400 | 60.9 | 18.5 | 65.2 | −4.2 | 70.6 | −36.0 | 68.1 | −11.6 | 400 |
| 600 | 63.8 | 19.0 | 67.7 | −3.8 | 72.3 | −35.6 | 70.5 | −11.2 | 600 |
| 800 | 66.7 | 19.5 | 70.2 | −3.4 | 74.1 | −35.3 | 72.8 | −10.8 | 800 |
| 1000 | 69.6 | 19.9 | 72.6 | −3.0 | 75.9 | −35.0 | 75.1 | −10.5 | 1000 |
| 1200 | 72.5 | 20.3 | 75.1 | −2.7 | 77.7 | −34.7 | 77.5 | −10.3 | 1200 |
| 1400 | 75.5 | 20.6 | 77.6 | −2.4 | 79.5 | −34.5 | 79.8 | −10.1 | 1400 |
| 1600 | 78.4 | 20.8 | 80.2 | −2.2 | 81.3 | −34.3 | 82.2 | −9.9 | 1600 |
| 1800 | 81.4 | 21.0 | 82.7 | −2.1 | 83.1 | −34.2 | 84.6 | −9.8 | 1800 |
| 2000 | 84.4 | 21.1 | 85.2 | −1.9 | 84.9 | −34.1 | 86.9 | −9.7 | 2000 |

| 历元 | 53 BS2061 | | 54 BS2088 | | 55 BS2095 | | 56 BS2216 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 36.7 | −2.7 | 23.8 | 32.8 | 27.1 | 25.7 | 36.1 | 13.2 | −2000 |
| −1800 | 39.2 | −1.8 | 26.6 | 33.8 | 29.9 | 26.7 | 38.8 | 14.1 | −1800 |
| −1600 | 41.7 | −1.0 | 29.5 | 34.8 | 32.7 | 27.7 | 41.5 | 14.9 | −1600 |
| −1400 | 44.2 | −0.1 | 32.4 | 35.8 | 35.6 | 28.6 | 44.2 | 15.8 | −1400 |
| −1200 | 46.7 | 0.7 | 35.4 | 36.7 | 38.4 | 29.5 | 46.9 | 16.5 | −1200 |
| −1000 | 49.2 | 1.4 | 38.4 | 37.6 | 41.4 | 30.4 | 49.7 | 17.3 | −1000 |
| −800 | 51.8 | 2.1 | 41.5 | 38.5 | 44.4 | 31.2 | 52.5 | 18.0 | −800 |
| −600 | 54.3 | 2.8 | 44.6 | 39.3 | 47.4 | 32.0 | 55.3 | 18.7 | −600 |
| −400 | 56.9 | 3.5 | 47.8 | 40.1 | 50.4 | 32.7 | 58.2 | 19.3 | −400 |
| −200 | 59.5 | 4.1 | 51.1 | 40.8 | 53.6 | 33.4 | 61.0 | 19.8 | −200 |
| 0 | 62.1 | 4.6 | 54.4 | 41.5 | 56.7 | 34.0 | 63.9 | 20.4 | 0 |
| 200 | 64.7 | 5.1 | 57.8 | 42.1 | 59.9 | 34.6 | 66.8 | 20.8 | 200 |
| 400 | 67.3 | 5.6 | 61.2 | 42.7 | 63.1 | 35.2 | 69.8 | 21.2 | 400 |
| 600 | 70.2 | 6.0 | 64.6 | 43.2 | 66.4 | 35.6 | 72.7 | 21.6 | 600 |
| 800 | 72.7 | 6.3 | 68.2 | 43.7 | 69.7 | 36.1 | 75.7 | 21.9 | 800 |
| 1000 | 75.3 | 6.6 | 71.7 | 44.1 | 73.0 | 36.4 | 78.7 | 22.1 | 1000 |
| 1200 | 78.0 | 6.9 | 75.3 | 44.4 | 76.4 | 36.7 | 81.7 | 22.3 | 1200 |
| 1400 | 80.7 | 7.1 | 78.9 | 44.6 | 79.7 | 36.9 | 84.7 | 22.5 | 1400 |
| 1600 | 83.4 | 7.3 | 82.6 | 44.8 | 83.1 | 37.1 | 87.7 | 22.5 | 1600 |
| 1800 | 86.1 | 7.4 | 86.2 | 44.9 | 86.5 | 37.2 | 90.7 | 22.6 | 1800 |
| 2000 | 88.8 | 7.4 | 89.9 | 45.0 | 89.9 | 37.2 | 93.7 | 22.5 | 2000 |




| 历元 | 57 BS2286 | | 58 BS2294 | | 59 BS2326 | | 60 BS2343 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 37.7 | 13.9 | 52.5 | −24.0 | 74.8 | −54.6 | 40.0 | 12.2 | −2000 |
| −1800 | 40.4 | 14.8 | 54.6 | −23.4 | 75.8 | −54.3 | 42.7 | 13.0 | −1800 |
| −1600 | 43.2 | 15.6 | 56.7 | −22.7 | 76.8 | −54.1 | 45.4 | 13.8 | −1600 |
| −1400 | 45.9 | 16.4 | 58.9 | −22.1 | 77.8 | −53.8 | 48.1 | 14.6 | −1400 |
| −1200 | 48.7 | 17.2 | 61.0 | −21.6 | 79.8 | −53.6 | 50.9 | 15.3 | −1200 |
| −1000 | 51.5 | 17.9 | 63.1 | −21.0 | 79.8 | −53.4 | 53.6 | 16.0 | −1000 |
| −800 | 54.3 | 18.6 | 65.2 | −20.6 | 80.8 | −53.2 | 56.4 | 16.7 | −800 |
| −600 | 57.1 | 19.2 | 67.4 | −20.1 | 81.9 | −53.0 | 59.2 | 17.3 | −600 |
| −400 | 60.0 | 19.8 | 69.5 | −19.7 | 82.9 | −52.9 | 62.1 | 17.8 | −400 |
| −200 | 62.9 | 20.3 | 71.7 | −19.3 | 84.0 | −52.7 | 64.9 | 18.3 | −200 |
| 0 | 65.8 | 20.8 | 73.8 | −19.0 | 85.0 | −52.6 | 67.8 | 18.8 | 0 |
| 200 | 68.7 | 21.2 | 76.0 | −18.7 | 86.1 | −52.5 | 70.7 | 19.2 | 200 |
| 400 | 71.7 | 21.6 | 78.2 | −18.4 | 87.2 | −52.5 | 73.6 | 19.5 | 400 |
| 600 | 74.7 | 21.9 | 80.3 | −18.2 | 88.3 | −52.4 | 76.5 | 19.8 | 600 |
| 800 | 77.6 | 22.2 | 82.5 | −18.1 | 89.4 | −52.4 | 79.5 | 20.0 | 800 |
| 1000 | 80.6 | 22.4 | 84.7 | −17.9 | 90.5 | −52.4 | 82.4 | 20.2 | 1000 |
| 1200 | 83.6 | 22.5 | 86.9 | −17.9 | 91.6 | −52.4 | 85.4 | 20.3 | 1200 |
| 1400 | 86.7 | 22.6 | 89.1 | −17.8 | 92.7 | −52.5 | 88.3 | 20.4 | 1400 |
| 1600 | 89.7 | 22.6 | 91.3 | −17.8 | 93.8 | −52.5 | 91.3 | 20.4 | 1600 |
| 1800 | 92.7 | 22.6 | 93.5 | −17.9 | 94.9 | −52.6 | 94.3 | 20.3 | 1800 |
| 2000 | 95.7 | 22.5 | 95.7 | −18.0 | 96.0 | −52.7 | 97.2 | 20.2 | 2000 |

| 历元 | 61 BS2421 | | 62 BS2473 | | 63 BS2491 | | 64 BS2529 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 43.3 | 9.4 | 41.5 | 18.0 | 57.4 | −19.4 | 44.5 | 15.6 | −2000 |
| −1800 | 46.0 | 10.2 | 44.2 | 18.8 | 59.6 | −18.9 | 47.2 | 16.3 | −1800 |
| −1600 | 48.7 | 10.9 | 47.0 | 19.6 | 61.7 | −18.4 | 50.0 | 17.1 | −1600 |
| −1400 | 51.3 | 11.7 | 49.9 | 20.4 | 63.9 | −18.0 | 52.8 | 17.8 | −1400 |
| −1200 | 54.0 | 12.3 | 52.7 | 21.1 | 66.1 | −17.6 | 55.6 | 18.5 | −1200 |
| −1000 | 56.8 | 13.0 | 55.6 | 21.7 | 68.3 | −17.2 | 58.4 | 19.1 | −1000 |
| −800 | 59.5 | 13.6 | 58.5 | 22.3 | 70.5 | −16.9 | 61.3 | 19.6 | −800 |
| −600 | 62.3 | 14.1 | 61.4 | 22.9 | 72.6 | −16.6 | 64.2 | 20.1 | −600 |
| −400 | 65.1 | 14.6 | 64.4 | 23.4 | 74.8 | −16.3 | 67.1 | 20.6 | −400 |
| −200 | 67.9 | 15.1 | 67.3 | 23.9 | 77.0 | −16.1 | 70.0 | 21.0 | −200 |
| 0 | 70.7 | 15.5 | 70.3 | 24.3 | 79.2 | −16.0 | 72.9 | 21.4 | 0 |
| 200 | 73.5 | 15.8 | 73.3 | 24.6 | 81.4 | −15.9 | 75.9 | 21.7 | 200 |
| 400 | 76.4 | 16.1 | 76.4 | 24.9 | 83.6 | −15.8 | 78.9 | 21.9 | 400 |
| 600 | 79.2 | 16.3 | 79.4 | 25.2 | 85.8 | −15.8 | 81.9 | 22.1 | 600 |
| 800 | 82.1 | 16.5 | 82.5 | 25.3 | 88.1 | −15.8 | 84.9 | 22.2 | 800 |
| 1000 | 85.0 | 16.6 | 85.6 | 25.5 | 90.3 | −15.8 | 87.9 | 22.3 | 1000 |
| 1200 | 87.9 | 16.7 | 88.6 | 25.5 | 92.5 | −15.9 | 90.9 | 22.3 | 1200 |
| 1400 | 90.8 | 16.7 | 91.7 | 25.5 | 94.7 | −16.1 | 93.9 | 22.3 | 1400 |
| 1600 | 93.6 | 16.7 | 94.8 | 25.4 | 96.9 | −16.2 | 96.9 | 22.1 | 1600 |
| 1800 | 96.5 | 16.6 | 97.9 | 25.3 | 99.1 | −16.5 | 99.9 | 22.0 | 1800 |
| 2000 | 99.4 | 16.4 | 101.0 | 25.1 | 101.3 | −16.7 | 102.9 | 21.8 | 2000 |



| 历元 | 65 BS2553 | | 66 BS2618 | | 67 BS2650 | | 68 BS2693 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 78.1 | -50.5 | 66.0 | -30.8 | 47.8 | 15.5 | 67.0 | -27.6 | -2000 |
| -1800 | 79.3 | -50.3 | 67.9 | -30.4 | 50.5 | 16.3 | 69.0 | -27.2 | -1800 |
| -1600 | 80.4 | -50.1 | 69.8 | -30.0 | 53.3 | 17.0 | 71.0 | -26.8 | -1600 |
| -1400 | 81.6 | -49.9 | 71.7 | -29.6 | 56.1 | 17.6 | 72.9 | -26.4 | -1400 |
| -1200 | 82.8 | -49.8 | 73.6 | -29.3 | 28.9 | 18.2 | 74.9 | -26.1 | -1200 |
| -1000 | 84.0 | -49.6 | 75.5 | -29.0 | 61.8 | 18.8 | 76.9 | -25.8 | -1000 |
| -800 | 85.2 | -49.5 | 77.4 | -28.7 | 64.6 | 19.3 | 78.9 | -25.6 | -800 |
| -600 | 86.4 | -49.4 | 79.3 | -28.9 | 67.5 | 17.9 | 80.9 | -25.4 | -600 |
| -400 | 87.8 | -49.4 | 81.3 | -28.3 | 70.4 | 20.1 | 82.9 | -25.2 | -400 |
| -200 | 88.9 | -49.4 | 83.2 | -28.1 | 73.3 | 20.5 | 84.9 | -25.1 | -200 |
| 0 | 90.1 | -49.4 | 85.1 | -28.0 | 76.3 | 20.8 | 86.9 | -25.0 | 0 |
| 200 | 91.3 | -49.4 | 87.1 | -28.0 | 79.2 | 21.0 | 88.9 | -25.0 | 200 |
| 400 | 92.6 | -49.4 | 89.0 | -27.9 | 82.2 | 21.2 | 90.9 | -25.0 | 400 |
| 600 | 93.8 | -49.5 | 91.0 | -27.9 | 85.2 | 21.3 | 92.9 | -25.0 | 600 |
| 800 | 95.0 | -49.6 | 92.9 | -28.0 | 88.2 | 21.4 | 94.9 | -25.1 | 800 |
| 1000 | 96.3 | -49.7 | 94.9 | -28.0 | 91.1 | 21.4 | 97.0 | -25.2 | 1000 |
| 1200 | 97.5 | -49.8 | 96.8 | -28.1 | 94.1 | 21.4 | 99.0 | -25.4 | 1200 |
| 1400 | 98.8 | -50.0 | 98.8 | -28.3 | 97.1 | 21.2 | 101.0 | -25.6 | 1400 |
| 1600 | 100.0 | -50.2 | 100.7 | -28.5 | 100.1 | 21.1 | 103.0 | -25.8 | 1600 |
| 1800 | 101.2 | -50.4 | 102.7 | -28.7 | 103.1 | 20.8 | 105.1 | -26.1 | 1800 |
| 2000 | 102.5 | -50.6 | 104.7 | -29.0 | 106.0 | 20.6 | 107.1 | -26.4 | 2000 |

| 历元 | 69 BS2763 | | 70 BS2773 | | 71 BS2777 | | 72 BS2821 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -2000 | 52.5 | 13.1 | 74.5 | -36.4 | 50.8 | 18.3 | 49.7 | 24.2 | -2000 |
| -1800 | 55.3 | 13.8 | 76.2 | -36.1 | 53.6 | 19.0 | 52.6 | 24.9 | -1800 |
| -1600 | 58.0 | 14.4 | 77.9 | -35.9 | 56.5 | 19.6 | 55.5 | 25.6 | -1600 |
| -1400 | 60.8 | 15.0 | 79.6 | -35.7 | 59.3 | 20.2 | 58.5 | 26.2 | -1400 |
| -1200 | 63.6 | 15.5 | 81.3 | -35.5 | 62.2 | 20.8 | 61.5 | 26.8 | -1200 |
| -1000 | 66.4 | 16.0 | 83.1 | -35.3 | 65.1 | 21.3 | 64.5 | 27.3 | -1000 |
| -800 | 69.2 | 16.4 | 84.8 | -35.2 | 68.0 | 21.7 | 67.5 | 27.7 | -800 |
| -600 | 72.0 | 16.7 | 86.5 | -35.1 | 71.0 | 22.1 | 70.6 | 28.1 | -600 |
| -400 | 74.9 | 17.1 | 88.2 | -35.1 | 73.9 | 22.4 | 73.7 | 28.5 | -400 |
| -200 | 77.7 | 17.3 | 90.0 | -35.1 | 76.9 | 22.7 | 76.8 | 28.7 | -200 |
| 0 | 80.6 | 17.5 | 91.7 | -35.1 | 79.9 | 22.9 | 80.0 | 29.0 | 0 |
| 200 | 83.5 | 17.7 | 93.5 | -35.1 | 82.9 | 23.1 | 83.1 | 29.1 | 200 |
| 400 | 86.4 | 17.8 | 95.2 | -35.2 | 85.9 | 23.2 | 86.3 | 29.2 | 400 |
| 600 | 89.3 | 17.8 | 97.0 | -35.3 | 88.9 | 23.3 | 89.4 | 29.2 | 600 |
| 800 | 92.2 | 17.8 | 98.7 | -35.5 | 92.0 | 23.3 | 92.6 | 29.2 | 800 |
| 1000 | 95.1 | 17.7 | 100.5 | -35.7 | 95.0 | 23.2 | 95.7 | 29.1 | 1000 |
| 1200 | 98.0 | 17.6 | 102.2 | -35.9 | 98.0 | 23.1 | 98.9 | 29.0 | 1200 |
| 1400 | 100.9 | 17.4 | 104.0 | -36.1 | 101.0 | 22.9 | 102.1 | 28.8 | 1400 |
| 1600 | 103.8 | 17.2 | 105.8 | -36.4 | 104.0 | 22.6 | 105.2 | 28.5 | 1600 |
| 1800 | 106.6 | 16.9 | 107.5 | -36.7 | 107.0 | 22.3 | 108.3 | 28.2 | 1800 |
| 2000 | 109.5 | 16.5 | 109.3 | -37.1 | 110.0 | 22.0 | 111.4 | 27.8 | 2000 |




| 历元 | 73 BS2827 | | 74 BS2845 | | 75 BS2890 | | 76 BS2943 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 72.0 | −28.8 | 57.8 | 6.3 | 49.8 | 28.8 | 62.0 | 5.8 | −2000 |
| −1800 | 73.9 | −28.5 | 60.4 | 6.9 | 52.8 | 29.5 | 64.6 | 6.3 | −1800 |
| −1600 | 75.8 | −28.2 | 63.0 | 7.4 | 55.8 | 30.1 | 67.2 | 6.7 | −1600 |
| −1400 | 77.7 | −27.9 | 65.7 | 7.9 | 58.9 | 30.7 | 69.8 | 7.0 | −1400 |
| −1200 | 79.7 | −27.7 | 68.3 | 8.3 | 62.0 | 31.3 | 72.4 | 7.3 | −1200 |
| −1000 | 81.6 | −27.5 | 71.0 | 8.7 | 65.1 | 31.8 | 75.1 | 7.6 | −1000 |
| −800 | 83.5 | −27.4 | 73.7 | 9.0 | 68.2 | 32.2 | 77.7 | 7.8 | −800 |
| −600 | 85.5 | −27.2 | 76.4 | 9.3 | 71.4 | 32.6 | 80.4 | 7.9 | −600 |
| −400 | 87.4 | −27.2 | 79.1 | 9.6 | 74.6 | 32.9 | 83.0 | 8.0 | −400 |
| −200 | 89.4 | −27.1 | 81.8 | 9.8 | 77.9 | 33.2 | 85.7 | 8.1 | −200 |
| 0 | 91.3 | −27.1 | 84.5 | 9.9 | 81.1 | 33.4 | 88.3 | 8.1 | 0 |
| 200 | 93.3 | −27.2 | 87.2 | 10.0 | 84.4 | 33.5 | 91.0 | 8.0 | 200 |
| 400 | 95.3 | −27.3 | 90.0 | 10.0 | 87.6 | 33.6 | 93.7 | 7.9 | 400 |
| 600 | 97.2 | −27.4 | 92.7 | 10.0 | 90.9 | 33.6 | 96.3 | 7.7 | 600 |
| 800 | 99.2 | −27.6 | 95.4 | 9.9 | 94.2 | 33.5 | 99.0 | 7.5 | 800 |
| 1000 | 101.1 | −27.8 | 98.2 | 9.7 | 97.5 | 33.4 | 101.6 | 7.3 | 1000 |
| 1200 | 103.1 | −28.0 | 100.9 | 9.6 | 100.7 | 33.2 | 104.3 | 7.0 | 1200 |
| 1400 | 105.1 | −28.3 | 103.6 | 9.3 | 104.0 | 33.0 | 106.9 | 6.6 | 1400 |
| 1600 | 107.1 | −28.6 | 106.4 | 9.0 | 107.2 | 32.7 | 109.6 | 6.2 | 1600 |
| 1800 | 109.0 | −28.9 | 109.1 | 8.7 | 110.5 | 32.3 | 112.2 | 5.7 | 1800 |
| 2000 | 111.0 | −29.3 | 111.8 | 8.3 | 113.7 | 31.9 | 114.8 | 5.2 | 2000 |

| 历元 | 77 BS2985 | | 78 BS2990 | | 79 BS3165 | | 80 BS3185 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 55.3 | 22.7 | 54.5 | 26.4 | 86.1 | −34.9 | 79.6 | −20.3 | −2000 |
| −1800 | 58.2 | 23.4 | 57.4 | 27.0 | 87.8 | −34.8 | 81.7 | −20.1 | −1800 |
| −1600 | 61.1 | 23.9 | 60.4 | 27.6 | 89.5 | −34.8 | 83.8 | −20.0 | −1600 |
| −1400 | 64.1 | 24.4 | 63.4 | 28.1 | 91.3 | −34.8 | 85.9 | −19.9 | −1400 |
| −1200 | 67.1 | 24.9 | 66.4 | 28.6 | 93.0 | −34.9 | 88.0 | −19.8 | −1200 |
| −1000 | 70.1 | 25.3 | 69.5 | 29.0 | 94.7 | −34.9 | 90.1 | −19.8 | −1000 |
| −800 | 73.1 | 25.7 | 72.6 | 29.3 | 96.4 | −35.0 | 92.2 | −19.8 | −800 |
| −600 | 76.1 | 26.0 | 75.7 | 29.6 | 98.2 | −35.2 | 94.3 | −19.9 | −600 |
| −400 | 79.2 | 26.2 | 78.8 | 29.9 | 99.9 | −35.4 | 96.4 | −20.0 | −400 |
| −200 | 82.3 | 26.4 | 81.9 | 30.0 | 101.7 | −35.6 | 98.5 | −20.1 | −200 |
| 0 | 85.4 | 26.5 | 85.0 | 30.1 | 103.4 | −35.8 | 100.6 | −20.3 | 0 |
| 200 | 88.5 | 26.6 | 88.2 | 30.2 | 105.1 | −36.1 | 102.8 | −20.5 | 200 |
| 400 | 91.6 | 26.6 | 91.3 | 30.2 | 106.9 | −36.4 | 104.9 | −20.8 | 400 |
| 600 | 94.7 | 26.5 | 94.5 | 30.1 | 108.6 | −36.7 | 107.0 | −21.1 | 600 |
| 800 | 97.7 | 26.4 | 97.7 | 30.0 | 110.4 | −37.1 | 109.1 | −21.4 | 800 |
| 1000 | 100.8 | 26.2 | 100.8 | 29.8 | 112.1 | −37.5 | 111.3 | −21.8 | 1000 |
| 1200 | 103.9 | 25.9 | 103.9 | 29.6 | 113.9 | −38.0 | 113.4 | −22.2 | 1200 |
| 1400 | 107.0 | 25.6 | 107.1 | 29.3 | 115.6 | −38.4 | 115.5 | −22.7 | 1400 |
| 1600 | 110.0 | 25.3 | 110.2 | 28.9 | 117.4 | −38.9 | 117.6 | −23.2 | 1600 |
| 1800 | 113.1 | 24.9 | 113.3 | 28.5 | 119.1 | −39.4 | 119.8 | −23.7 | 1800 |
| 2000 | 116.1 | 24.4 | 116.3 | 28.0 | 120.9 | −40.0 | 121.9 | −24.3 | 2000 |



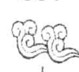




| 历元 | 81 BS3207 | | 82 BS3307 | | 83 BS3357 | | 84 BS3366 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 91.6 | −40.9 | 103.2 | −50.2 | 68.9 | 21.3 | 68.1 | 23.6 | −2000 |
| −1800 | 93.1 | −40.9 | 104.4 | −50.5 | 71.8 | 21.7 | 71.1 | 24.0 | −1800 |
| −1600 | 94.7 | −41.0 | 105.5 | −50.8 | 74.7 | 22.0 | 74.1 | 24.3 | −1600 |
| −1400 | 96.2 | −41.1 | 106.7 | −51.1 | 77.7 | 22.3 | 77.1 | 24.6 | −1400 |
| −1200 | 97.7 | −41.2 | 107.9 | −51.4 | 80.7 | 22.5 | 80.1 | 24.8 | −1200 |
| −1000 | 99.3 | −41.4 | 109.0 | −51.8 | 83.6 | 22.6 | 83.2 | 24.9 | −1000 |
| −800 | 100.8 | −41.6 | 110.2 | −52.2 | 86.6 | 22.7 | 86.2 | 25.1 | −800 |
| −600 | 102.3 | −41.8 | 111.3 | −52.6 | 89.6 | 22.8 | 89.2 | 25.1 | −600 |
| −400 | 103.9 | −42.1 | 112.5 | −53.0 | 92.6 | 22.7 | 92.3 | 25.1 | −400 |
| −200 | 105.4 | −42.4 | 113.6 | −53.4 | 95.6 | 22.7 | 95.3 | 25.0 | −200 |
| 0 | 107.0 | −42.7 | 114.8 | −53.9 | 98.6 | 22.5 | 98.4 | 24.9 | 0 |
| 200 | 108.5 | −43.0 | 115.9 | −54.4 | 101.6 | 22.3 | 101.4 | 24.7 | 200 |
| 400 | 110.0 | −43.4 | 117.0 | −54.9 | 104.6 | 22.1 | 104.5 | 24.4 | 400 |
| 600 | 111.6 | −43.8 | 118.1 | −55.4 | 107.5 | 21.7 | 107.5 | 24.1 | 600 |
| 800 | 113.1 | −44.2 | 119.2 | −55.9 | 110.5 | 21.4 | 110.5 | 23.7 | 800 |
| 1000 | 114.7 | −44.7 | 120.3 | −56.5 | 113.4 | 20.9 | 113.5 | 23.3 | 1000 |
| 1200 | 116.2 | −45.2 | 121.4 | −57.0 | 116.4 | 20.5 | 116.5 | 22.8 | 1200 |
| 1400 | 117.8 | −45.7 | 122.5 | −57.6 | 119.3 | 19.9 | 119.4 | 22.3 | 1400 |
| 1600 | 119.3 | −46.2 | 123.6 | −58.2 | 122.2 | 19.4 | 122.4 | 21.7 | 1600 |
| 1800 | 120.8 | −46.8 | 124.6 | −58.9 | 125.0 | 18.8 | 125.3 | 21.1 | 1800 |
| 2000 | 122.4 | −47.3 | 125.6 | −59.5 | 127.9 | 18.1 | 128.2 | 20.4 | 2000 |

| 历元 | 85 BS3410 | | 86 BS3449 | | 87 BS3461 | | 88 BS3485 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 75.2 | 10.3 | 70.2 | 25.5 | 71.8 | 22.7 | 103.0 | −44.5 | −2000 |
| −1800 | 77.9 | 10.6 | 73.3 | 25.9 | 74.8 | 23.0 | 104.5 | −44.8 | −1800 |
| −1600 | 80.6 | 10.8 | 76.3 | 26.1 | 77.8 | 23.3 | 105.9 | −45.1 | −1600 |
| −1400 | 83.3 | 11.0 | 79.3 | 26.4 | 80.8 | 23.5 | 107.3 | −45.4 | −1400 |
| −1200 | 86.1 | 11.1 | 82.4 | 26.6 | 83.8 | 23.6 | 108.7 | −45.7 | −1200 |
| −1000 | 88.8 | 11.1 | 85.5 | 26.7 | 86.8 | 23.7 | 110.1 | −46.1 | −1000 |
| −800 | 91.5 | 11.1 | 88.6 | 26.7 | 89.8 | 23.7 | 111.6 | −46.5 | −800 |
| −600 | 94.3 | 11.1 | 91.6 | 26.7 | 92.8 | 23.7 | 113.0 | −47.0 | −600 |
| −400 | 97.0 | 10.9 | 94.7 | 26.7 | 95.8 | 23.6 | 114.4 | −47.4 | −400 |
| −200 | 99.7 | 10.8 | 97.8 | 26.5 | 98.8 | 23.5 | 115.8 | −47.9 | −200 |
| 0 | 102.5 | 10.6 | 100.9 | 26.3 | 101.9 | 23.2 | 117.2 | −48.4 | 0 |
| 200 | 105.2 | 10.3 | 104.0 | 26.1 | 104.9 | 23.0 | 118.6 | −48.9 | 200 |
| 400 | 107.9 | 10.0 | 107.0 | 25.8 | 107.8 | 22.6 | 120.0 | −49.5 | 400 |
| 600 | 110.6 | 9.6 | 110.1 | 25.4 | 110.8 | 22.3 | 121.4 | −50.1 | 600 |
| 800 | 113.4 | 9.2 | 113.1 | 25.0 | 113.8 | 21.8 | 122.8 | −50.7 | 800 |
| 1000 | 116.1 | 8.7 | 116.1 | 24.6 | 116.7 | 21.3 | 124.2 | −51.3 | 1000 |
| 1200 | 118.7 | 8.2 | 119.1 | 24.0 | 119.7 | 20.8 | 125.6 | −51.9 | 1200 |
| 1400 | 121.4 | 7.6 | 122.0 | 23.5 | 122.6 | 20.2 | 127.0 | −52.6 | 1400 |
| 1600 | 124.1 | 7.0 | 125.0 | 22.8 | 125.5 | 19.6 | 128.4 | −53.3 | 1600 |
| 1800 | 126.8 | 6.4 | 127.9 | 22.2 | 128.3 | 18.9 | 129.8 | −54.0 | 1800 |
| 2000 | 129.4 | 5.7 | 130.8 | 21.5 | 131.2 | 18.2 | 131.2 | −54.7 | 2000 |





| 历元 | 89 BS3634 | | 90 BS3685 | | 91 BS3699 | | 92 BS3734 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 100.9 | −32.8 | 120.5 | −55.4 | 111.8 | −46.3 | 109.8 | −42.3 | −2000 |
| −1800 | 102.7 | −33.0 | 121.6 | −56.0 | 113.2 | −46.8 | 111.4 | −42.7 | −1800 |
| −1600 | 104.5 | −33.3 | 122.6 | −56.6 | 114.6 | −47.2 | 112.9 | −43.1 | −1600 |
| −1400 | 106.3 | −33.6 | 123.7 | −57.2 | 116.0 | −47.7 | 114.4 | −43.5 | −1400 |
| −1200 | 108.1 | −33.9 | 124.7 | −57.8 | 117.4 | −48.2 | 116.0 | −44.0 | −1200 |
| −1000 | 109.9 | −34.3 | 125.7 | −58.4 | 118.8 | −48.7 | 117.5 | −44.5 | −1000 |
| −800 | 111.7 | −34.7 | 126.7 | −59.1 | 120.2 | −49.3 | 119.0 | −45.1 | −800 |
| −600 | 113.4 | −35.1 | 127.7 | −59.8 | 121.6 | −49.9 | 120.6 | −45.6 | −600 |
| −400 | 115.2 | −35.6 | 128.7 | −60.5 | 122.9 | −50.5 | 122.1 | −46.2 | −400 |
| −200 | 117.0 | −36.1 | 129.7 | −61.2 | 124.3 | −51.1 | 123.6 | −46.8 | −200 |
| 0 | 118.8 | −36.6 | 130.6 | −61.9 | 125.7 | −51.7 | 125.2 | −47.4 | 0 |
| 200 | 120.6 | −37.2 | 131.5 | −62.6 | 127.1 | −52.4 | 126.7 | −48.1 | 200 |
| 400 | 122.4 | −37.7 | 132.4 | −63.4 | 128.4 | −53.1 | 128.2 | −48.8 | 400 |
| 600 | 124.2 | −38.4 | 133.3 | −64.1 | 129.8 | −53.8 | 129.8 | −49.5 | 600 |
| 800 | 126.1 | −39.0 | 134.1 | −64.9 | 131.2 | −54.5 | 131.3 | −50.2 | 800 |
| 1000 | 127.9 | −39.7 | 134.9 | −65.7 | 132.5 | −55.3 | 132.8 | −51.0 | 1000 |
| 1200 | 129.7 | −40.4 | 135.7 | −66.5 | 133.9 | −56.0 | 134.4 | −51.7 | 1200 |
| 1400 | 131.5 | −41.1 | 136.4 | −67.3 | 135.2 | −56.8 | 135.9 | −52.5 | 1400 |
| 1600 | 133.3 | −41.9 | 137.1 | −68.1 | 136.6 | −57.6 | 137.4 | −53.3 | 1600 |
| 1800 | 135.2 | −42.6 | 137.7 | −68.9 | 137.9 | −58.4 | 139.0 | −54.2 | 1800 |
| 2000 | 137.0 | −43.4 | 138.3 | −69.7 | 139.3 | −59.3 | 140.5 | −55.0 | 2000 |

| 历元 | 93 BS3748 | | 94 BS3852 | | 95 BS3873 | | 96 BS3903 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 91.9 | 1.2 | 89.0 | 19.9 | 84.4 | 33.2 | 99.4 | −2.7 | −2000 |
| −1800 | 94.5 | 1.1 | 91.9 | 19.9 | 87.7 | 33.3 | 101.9 | −2.9 | −1800 |
| −1600 | 97.0 | 1.0 | 94.8 | 19.8 | 90.9 | 33.3 | 104.3 | −3.2 | −1600 |
| −1400 | 99.5 | 0.8 | 97.7 | 19.7 | 94.2 | 33.2 | 106.8 | −3.5 | −1400 |
| −1200 | 102.0 | 0.6 | 100.6 | 19.5 | 97.4 | 33.1 | 109.2 | −3.9 | −1200 |
| −1000 | 104.6 | 0.4 | 103.5 | 19.3 | 100.7 | 32.9 | 111.6 | −4.3 | −1000 |
| −800 | 107.1 | 0.1 | 106.4 | 19.0 | 103.9 | 32.7 | 114.1 | −4.7 | −800 |
| −600 | 109.6 | −0.3 | 109.2 | 18.6 | 107.1 | 32.4 | 116.5 | −5.2 | −600 |
| −400 | 112.1 | −0.7 | 112.1 | 18.2 | 110.3 | 32.0 | 118.9 | −5.7 | −400 |
| −200 | 114.6 | −1.1 | 115.0 | 17.8 | 113.5 | 31.6 | 121.4 | −6.3 | −200 |
| 0 | 117.1 | −1.6 | 117.8 | 17.3 | 116.6 | 31.1 | 123.8 | −6.9 | 0 |
| 200 | 119.6 | −2.1 | 120.6 | 16.7 | 119.7 | 30.6 | 126.2 | −7.5 | 200 |
| 400 | 122.1 | −2.7 | 123.4 | 16.1 | 122.8 | 30.0 | 128.6 | −8.2 | 400 |
| 600 | 124.6 | −3.3 | 126.2 | 15.5 | 125.9 | 29.4 | 131.0 | −8.9 | 600 |
| 800 | 127.1 | −4.0 | 129.0 | 14.8 | 128.9 | 28.7 | 133.4 | −9.7 | 800 |
| 1000 | 129.6 | −4.7 | 131.8 | 14.1 | 131.9 | 28.0 | 135.9 | −10.5 | 1000 |
| 1200 | 132.0 | −5.4 | 134.5 | 13.3 | 134.9 | 27.2 | 138.3 | −11.3 | 1200 |
| 1400 | 134.5 | −6.2 | 137.2 | 12.5 | 137.8 | 26.4 | 140.7 | −12.1 | 1400 |
| 1600 | 137.0 | −7.0 | 139.9 | 11.7 | 140.7 | 25.6 | 143.1 | −13.0 | 1600 |
| 1800 | 139.4 | −7.8 | 142.6 | 10.8 | 143.6 | 24.7 | 145.5 | −13.9 | 1800 |
| 2000 | 141.9 | −8.7 | 145.3 | 9.9 | 146.5 | 23.8 | 147.9 | −14.8 | 2000 |







| 历元 | 97 BS3975 | | 98 BS3980 | | 99 BS3982 | | 100 BS4057 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 92.8 | 28.4 | 95.5 | 22.2 | 95.1 | 24.1 | 94.4 | 32.4 | −2000 |
| −1800 | 95.9 | 28.4 | 98.5 | 22.1 | 98.1 | 24.0 | 97.7 | 32.3 | −1800 |
| −1600 | 99.0 | 28.2 | 101.4 | 21.9 | 101.1 | 23.8 | 100.9 | 32.1 | −1600 |
| −1400 | 102.1 | 28.0 | 104.4 | 21.6 | 104.1 | 23.5 | 104.1 | 31.9 | −1400 |
| −1200 | 105.2 | 27.7 | 107.3 | 21.3 | 107.1 | 23.2 | 107.3 | 31.5 | −1200 |
| −1000 | 108.3 | 27.4 | 110.2 | 20.9 | 110.0 | 22.9 | 110.5 | 31.2 | −1000 |
| −800 | 111.4 | 27.0 | 113.1 | 20.5 | 113.0 | 22.4 | 113.7 | 30.7 | −800 |
| −600 | 114.4 | 26.6 | 116.0 | 20.0 | 115.9 | 22.0 | 116.8 | 30.3 | −600 |
| −400 | 117.4 | 26.1 | 118.9 | 19.5 | 118.8 | 21.4 | 119.9 | 29.7 | −400 |
| −200 | 120.4 | 25.6 | 121.8 | 18.9 | 121.7 | 20.9 | 123.0 | 29.1 | −200 |
| 0 | 123.4 | 25.0 | 124.6 | 18.3 | 124.5 | 20.3 | 126.1 | 28.5 | 0 |
| 200 | 126.4 | 24.3 | 127.4 | 17.7 | 127.4 | 19.6 | 129.1 | 27.8 | 200 |
| 400 | 129.3 | 23.6 | 130.2 | 17.0 | 130.2 | 18.9 | 132.1 | 27.1 | 400 |
| 600 | 132.2 | 22.9 | 133.0 | 16.2 | 133.0 | 18.2 | 135.1 | 26.3 | 600 |
| 800 | 135.1 | 22.1 | 135.8 | 15.4 | 135.8 | 17.4 | 138.0 | 25.5 | 800 |
| 1000 | 137.9 | 21.3 | 138.5 | 14.6 | 138.6 | 16.6 | 140.9 | 24.6 | 1000 |
| 1200 | 140.8 | 20.5 | 141.3 | 13.7 | 141.3 | 15.7 | 143.8 | 23.7 | 1200 |
| 1400 | 143.6 | 19.6 | 144.0 | 12.8 | 144.0 | 14.8 | 146.6 | 22.8 | 1400 |
| 1600 | 146.3 | 18.7 | 146.6 | 11.9 | 146.7 | 13.9 | 149.4 | 21.8 | 1600 |
| 1800 | 149.1 | 17.7 | 149.3 | 11.0 | 149.4 | 12.9 | 152.2 | 20.8 | 1800 |
| 2000 | 151.8 | 16.8 | 152.0 | 10.0 | 152.1 | 12.0 | 155.0 | 19.8 | 2000 |

| 历元 | 101 BS4133 | | 102 BS4199 | | 103 BS4216 | | 104 BS4287 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 102.0 | 23.4 | 128.2 | −46.5 | 122.1 | −32.2 | 116.6 | −1.5 | −2000 |
| −1800 | 105.0 | 23.1 | 129.8 | −47.2 | 124.0 | −32.8 | 119.1 | −2.0 | −1800 |
| −1600 | 107.9 | 22.8 | 131.3 | −47.9 | 125.9 | −33.4 | 121.5 | −2.6 | −1600 |
| −1400 | 110.9 | 22.4 | 132.9 | −48.7 | 127.8 | −34.1 | 124.0 | −3.2 | −1400 |
| −1200 | 113.8 | 22.0 | 134.5 | −49.4 | 129.7 | −34.8 | 126.4 | −3.9 | −1200 |
| −1000 | 116.7 | 21.5 | 136.0 | −50.2 | 131.7 | −35.5 | 128.8 | −4.5 | −1000 |
| −800 | 119.7 | 21.0 | 137.6 | −51.1 | 133.6 | −36.3 | 131.2 | −5.3 | −800 |
| −600 | 122.5 | 20.4 | 139.2 | −51.9 | 135.5 | −37.1 | 133.6 | −6.0 | −600 |
| −400 | 125.4 | 19.8 | 140.8 | −52.8 | 137.4 | −37.9 | 136.0 | −6.8 | −400 |
| −200 | 128.2 | 19.1 | 142.4 | −53.6 | 139.4 | −38.8 | 138.5 | −7.6 | −200 |
| 0 | 131.1 | 18.4 | 144.0 | −54.4 | 141.3 | −39.6 | 140.9 | −8.5 | 0 |
| 200 | 133.9 | 17.6 | 145.6 | −55.5 | 143.3 | −40.5 | 143.3 | −9.4 | 200 |
| 400 | 136.6 | 16.8 | 147.2 | −56.4 | 145.3 | −41.4 | 145.7 | −10.3 | 400 |
| 600 | 139.4 | 16.0 | 148.8 | −57.3 | 147.2 | −42.4 | 148.1 | −11.2 | 600 |
| 800 | 142.1 | 15.1 | 150.5 | −58.3 | 149.2 | −43.3 | 150.4 | −12.2 | 800 |
| 1000 | 144.9 | 14.2 | 152.1 | −59.3 | 151.3 | −44.3 | 152.8 | −13.1 | 1000 |
| 1200 | 147.6 | 13.3 | 153.8 | −60.3 | 153.3 | −45.3 | 155.3 | −14.1 | 1200 |
| 1400 | 150.2 | 12.3 | 155.5 | −61.3 | 155.4 | −46.3 | 157.7 | −15.2 | 1400 |
| 1600 | 152.9 | 11.3 | 157.2 | −62.3 | 157.4 | −47.3 | 160.1 | −16.2 | 1600 |
| 1800 | 155.6 | 10.3 | 159.0 | −63.3 | 159.5 | −48.4 | 162.5 | −17.2 | 1800 |
| 2000 | 158.2 | 9.3 | 160.7 | −64.4 | 161.7 | −49.4 | 164.9 | −18.3 | 2000 |




| 历元 | 105 | BS4295 | 106 | BS4301 | 107 | BS4357 | 108 | BS4386 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 77.7 | 68.3 | 66.6 | 72.4 | 109.1 | 37.1 | 115.6 | 23.4 | −2000 |
| −1800 | 83.0 | 68.5 | 72.5 | 72.8 | 112.4 | 36.7 | 118.5 | 22.9 | −1800 |
| −1600 | 88.4 | 68.6 | 78.6 | 73.1 | 115.7 | 36.2 | 121.5 | 22.4 | −1600 |
| −1400 | 93.8 | 68.6 | 84.8 | 73.2 | 118.9 | 35.7 | 124.3 | 21.7 | −1400 |
| −1200 | 99.1 | 68.5 | 91.1 | 73.3 | 122.1 | 35.1 | 127.2 | 21.1 | −1200 |
| −1000 | 104.4 | 68.3 | 97.3 | 73.2 | 125.3 | 34.5 | 130.1 | 20.4 | −1000 |
| −800 | 109.6 | 67.9 | 103.5 | 73.0 | 128.4 | 33.8 | 132.9 | 19.6 | −800 |
| −600 | 114.7 | 67.5 | 109.5 | 72.7 | 131.5 | 33.1 | 135.7 | 18.8 | −600 |
| −400 | 119.6 | 67.0 | 115.3 | 72.2 | 134.6 | 32.3 | 138.4 | 18.0 | −400 |
| −200 | 124.4 | 66.4 | 120.9 | 71.7 | 137.6 | 31.5 | 141.2 | 17.2 | −200 |
| 0 | 128.9 | 65.7 | 126.2 | 71.1 | 140.6 | 30.6 | 143.9 | 16.3 | 0 |
| 200 | 133.3 | 65.0 | 131.2 | 70.4 | 143.5 | 29.7 | 146.6 | 15.3 | 200 |
| 400 | 137.5 | 64.2 | 136.0 | 69.6 | 146.5 | 28.8 | 149.3 | 14.4 | 400 |
| 600 | 141.5 | 63.3 | 140.4 | 68.7 | 149.3 | 27.8 | 152.0 | 13.4 | 600 |
| 800 | 145.4 | 62.4 | 144.7 | 67.9 | 152.2 | 26.9 | 154.6 | 12.4 | 800 |
| 1000 | 149.1 | 61.5 | 148.7 | 66.9 | 155.0 | 25.8 | 157.3 | 11.4 | 1000 |
| 1200 | 152.6 | 60.5 | 152.5 | 65.9 | 157.7 | 24.8 | 159.9 | 10.3 | 1200 |
| 1400 | 156.0 | 59.5 | 156.1 | 64.9 | 160.5 | 23.8 | 162.5 | 9.3 | 1400 |
| 1600 | 159.3 | 58.5 | 159.5 | 63.9 | 163.2 | 22.7 | 165.1 | 8.2 | 1600 |
| 1800 | 162.4 | 57.4 | 162.8 | 62.8 | 165.9 | 21.6 | 167.7 | 7.1 | 1800 |
| 2000 | 165.5 | 56.4 | 165.9 | 61.8 | 168.5 | 20.5 | 170.3 | 6.0 | 2000 |
| 历元 | 109 | BS4517 | 110 | BS4534 | 111 | BS4540 | 112 | BS4554 | 历元 |
| −2000 | 122.0 | 25.4 | 121.6 | 33.5 | 123.3 | 20.9 | 99.4 | 70.6 | −2000 |
| −1800 | 124.9 | 24.8 | 124.6 | 32.9 | 126.2 | 20.3 | 105.0 | 70.3 | −1800 |
| −1600 | 127.8 | 24.1 | 127.7 | 32.2 | 129.1 | 19.6 | 110.5 | 70.0 | −1600 |
| −1400 | 130.7 | 23.4 | 130.7 | 31.5 | 132.0 | 18.8 | 115.8 | 69.5 | −1400 |
| −1200 | 133.6 | 22.6 | 133.7 | 30.7 | 134.8 | 18.0 | 121.0 | 69.0 | −1200 |
| −1000 | 136.4 | 21.8 | 136.7 | 29.9 | 137.6 | 17.2 | 125.9 | 68.4 | −1000 |
| −800 | 139.2 | 21.0 | 139.6 | 29.0 | 140.4 | 16.4 | 130.6 | 67.7 | −800 |
| −600 | 142.0 | 20.1 | 142.5 | 28.1 | 143.2 | 15.5 | 135.1 | 66.9 | −600 |
| −400 | 144.8 | 19.2 | 145.3 | 27.2 | 145.9 | 14.5 | 139.4 | 66.1 | −400 |
| −200 | 147.5 | 18.2 | 148.1 | 26.3 | 148.6 | 13.6 | 143.5 | 65.2 | −200 |
| 0 | 150.2 | 17.3 | 150.9 | 25.3 | 151.3 | 12.6 | 147.4 | 64.3 | 0 |
| 200 | 152.9 | 16.3 | 153.6 | 24.3 | 154.0 | 11.6 | 151.1 | 63.3 | 200 |
| 400 | 155.6 | 15.2 | 156.3 | 23.3 | 156.7 | 10.5 | 154.6 | 62.3 | 400 |
| 600 | 158.3 | 14.2 | 159.0 | 22.2 | 159.3 | 9.5 | 158.0 | 61.3 | 600 |
| 800 | 160.9 | 13.1 | 161.7 | 21.2 | 162.0 | 8.4 | 161.3 | 60.3 | 800 |
| 1000 | 163.5 | 12.1 | 164.3 | 20.1 | 164.6 | 7.3 | 164.4 | 59.2 | 1000 |
| 1200 | 166.1 | 11.0 | 167.0 | 19.0 | 167.2 | 6.2 | 167.4 | 58.1 | 1200 |
| 1400 | 168.7 | 9.9 | 169.6 | 17.9 | 169.8 | 5.1 | 170.3 | 57.0 | 1400 |
| 1600 | 171.3 | 8.8 | 172.1 | 16.8 | 172.5 | 4.0 | 173.1 | 55.9 | 1600 |
| 1800 | 173.9 | 7.7 | 174.7 | 15.7 | 175.1 | 2.9 | 175.8 | 54.8 | 1800 |
| 2000 | 176.5 | 6.5 | 177.3 | 14.6 | 177.7 | 1.8 | 178.5 | 53.7 | 2000 |







| 历元 | 113 | BS4621 | 114 | BS4630 | 115 | BS4656 | 116 | BS4662 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 137.4 | −30.3 | 133.2 | −2.5 | 140.3 | −38.0 | 133.9 | 2.7 | −2000 |
| −1800 | 139.5 | −31.1 | 135.7 | −3.3 | 142.2 | −38.9 | 136.4 | 1.9 | −1800 |
| −1600 | 141.5 | −32.0 | 138.1 | −4.1 | 144.2 | −39.8 | 138.9 | 1.1 | −1600 |
| −1400 | 143.6 | −32.9 | 140.6 | −5.0 | 146.1 | −40.7 | 141.4 | 0.2 | −1400 |
| −1200 | 145.7 | −33.8 | 143.0 | −5.9 | 148.1 | −41.7 | 144.0 | −0.7 | −1200 |
| −1000 | 147.8 | −34.8 | 145.4 | −6.8 | 150.1 | −42.7 | 146.4 | −1.6 | −1000 |
| −800 | 149.9 | −35.7 | 147.9 | −7.7 | 152.1 | −43.6 | 148.9 | −2.6 | −800 |
| −600 | 152.0 | −36.7 | 150.3 | −8.7 | 154.1 | −44.7 | 151.4 | −3.5 | −600 |
| −400 | 154.1 | −37.7 | 152.7 | −9.7 | 156.2 | −45.7 | 153.9 | −4.5 | −400 |
| −200 | 156.3 | −38.7 | 155.2 | −10.7 | 158.2 | −46.7 | 156.4 | −5.5 | −200 |
| 0 | 158.5 | −39.8 | 157.6 | −11.7 | 160.3 | −47.8 | 158.8 | −6.6 | 0 |
| 200 | 160.7 | −40.8 | 160.1 | −12.7 | 162.5 | −48.8 | 161.3 | −7.6 | 200 |
| 400 | 162.9 | −41.9 | 162.5 | −13.8 | 164.6 | −49.9 | 163.8 | −8.7 | 400 |
| 600 | 165.1 | −43.0 | 165.0 | −14.9 | 166.8 | −51.0 | 166.3 | −9.8 | 600 |
| 800 | 167.4 | −44.1 | 167.4 | −16.0 | 169.1 | −52.1 | 168.8 | −10.9 | 800 |
| 1000 | 169.8 | −45.2 | 169.9 | −17.1 | 171.4 | −53.2 | 171.3 | −12.0 | 1000 |
| 1200 | 172.1 | −46.3 | 172.4 | −18.2 | 173.7 | −54.3 | 173.8 | −13.1 | 1200 |
| 1400 | 174.5 | −47.4 | 174.9 | −19.3 | 176.1 | −55.4 | 176.3 | −14.2 | 1400 |
| 1600 | 170.0 | −48.5 | 177.4 | −20.4 | 178.6 | −56.5 | 178.8 | −15.3 | 1600 |
| 1800 | 179.5 | −49.6 | 180.0 | −21.5 | 181.2 | −57.6 | 181.4 | −16.4 | 1800 |
| 2000 | 182.1 | −50.7 | 182.5 | −22.6 | 183.8 | −58.8 | 184.0 | −17.5 | 2000 |

| 历元 | 117 | BS4689 | 118 | BS4730 | 119 | BS4757 | 120 | BS4763 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 132.4 | 19.6 | 143.0 | −42.1 | 137.1 | 4.3 | 142.5 | −35.8 | −2000 |
| −1800 | 135.2 | 18.8 | 144.9 | −43.0 | 139.7 | 3.5 | 144.5 | −36.7 | −1800 |
| −1600 | 138.0 | 18.0 | 146.8 | −43.9 | 142.2 | 2.6 | 146.5 | −37.7 | −1600 |
| −1400 | 140.7 | 17.1 | 148.7 | −44.9 | 144.7 | 1.7 | 148.5 | −38.6 | −1400 |
| −1200 | 143.4 | 16.2 | 150.7 | −45.9 | 147.3 | 0.7 | 150.6 | −39.6 | −1200 |
| −1000 | 146.1 | 15.3 | 152.6 | −46.8 | 149.8 | −0.2 | 152.7 | −40.6 | −1000 |
| −800 | 148.8 | 14.4 | 154.6 | −47.9 | 152.3 | −1.2 | 154.7 | −41.7 | −800 |
| −600 | 151.5 | 13.4 | 156.6 | −48.9 | 154.8 | −2.2 | 156.8 | −42.7 | −600 |
| −400 | 154.1 | 12.4 | 158.6 | −49.9 | 157.3 | −3.3 | 159.0 | −43.7 | −400 |
| −200 | 156.7 | 11.4 | 160.7 | −51.0 | 159.7 | −4.3 | 161.1 | −44.8 | −200 |
| 0 | 159.3 | 10.3 | 162.7 | −52.0 | 162.2 | −5.4 | 163.3 | −45.9 | 0 |
| 200 | 161.9 | 9.3 | 164.9 | −53.1 | 164.7 | −6.5 | 165.5 | −47.0 | 200 |
| 400 | 164.5 | 8.2 | 167.0 | −54.2 | 167.2 | −7.6 | 167.8 | −48.1 | 400 |
| 600 | 167.1 | 7.1 | 169.2 | −55.3 | 169.7 | −8.7 | 170.1 | −49.2 | 600 |
| 800 | 169.7 | 6.0 | 171.5 | −56.4 | 172.2 | −9.8 | 172.4 | −50.3 | 800 |
| 1000 | 172.2 | 4.9 | 173.8 | −57.5 | 174.7 | −10.9 | 174.8 | −51.5 | 1000 |
| 1200 | 174.8 | 3.8 | 176.2 | −58.6 | 177.2 | −12.0 | 177.3 | −52.6 | 1200 |
| 1400 | 177.3 | 2.7 | 178.7 | −59.8 | 179.8 | −13.2 | 179.8 | −53.7 | 1400 |
| 1600 | 179.9 | 1.6 | 181.2 | −60.9 | 182.3 | −14.3 | 182.4 | −54.9 | 1600 |
| 1800 | 182.4 | 0.4 | 183.9 | −62.0 | 184.9 | −15.4 | 185.0 | −56.0 | 1800 |
| 2000 | 185.0 | −0.7 | 186.6 | −63.1 | 187.5 | −16.5 | 187.8 | −57.1 | 2000 |




| 历元 | 121 | BS4786 | 122 | BS4798 | 123 | BS4819 | 124 | BS4825 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 138.8 | −2.5 | 145.9 | −47.9 | 143.3 | −27.8 | 138.8 | 19.5 | −2000 |
| −1800 | 141.2 | −3.4 | 147.7 | −48.8 | 145.4 | −28.7 | 141.6 | 18.6 | −1800 |
| −1600 | 143.7 | −4.3 | 149.5 | −49.8 | 147.6 | −29.6 | 144.3 | 17.7 | −1600 |
| −1400 | 146.1 | −5.2 | 151.3 | −50.8 | 149.8 | −30.6 | 146.9 | 16.8 | −1400 |
| −1200 | 148.6 | −6.1 | 153.2 | −51.8 | 151.9 | −31.6 | 149.6 | 15.8 | −1200 |
| −1000 | 151.0 | −7.1 | 155.1 | −52.8 | 154.1 | −32.6 | 152.2 | 14.9 | −1000 |
| −800 | 153.5 | −8.1 | 157.0 | −53.8 | 156.3 | −33.6 | 154.8 | 13.8 | −800 |
| −600 | 155.9 | −9.1 | 158.9 | −54.8 | 158.5 | −34.7 | 157.4 | 12.8 | −600 |
| −400 | 158.4 | −10.2 | 160.9 | −55.9 | 160.8 | −35.7 | 160.0 | 11.8 | −400 |
| −200 | 160.8 | −11.2 | 162.9 | −57.0 | 163.0 | −36.8 | 162.6 | 10.7 | −200 |
| 0 | 163.3 | −12.3 | 164.9 | −58.1 | 165.3 | −37.9 | 165.1 | 9.6 | 0 |
| 200 | 165.8 | −13.4 | 167.0 | −59.1 | 167.6 | −39.0 | 167.7 | 8.5 | 200 |
| 400 | 168.2 | −14.5 | 169.1 | −60.2 | 170.0 | −40.1 | 170.2 | 7.4 | 400 |
| 600 | 170.7 | −15.6 | 171.3 | −61.3 | 172.4 | −41.2 | 172.8 | 6.3 | 600 |
| 800 | 173.2 | −16.7 | 173.6 | −62.5 | 174.8 | −42.3 | 175.3 | 5.2 | 800 |
| 1000 | 175.7 | −17.8 | 175.9 | −63.6 | 177.3 | −43.4 | 177.8 | 4.1 | 1000 |
| 1200 | 178.3 | −18.9 | 178.4 | −64.7 | 179.8 | −44.5 | 180.3 | 3.0 | 1200 |
| 1400 | 180.8 | −20.1 | 180.9 | −65.8 | 182.3 | −45.6 | 182.8 | 1.9 | 1400 |
| 1600 | 183.4 | −21.2 | 183.6 | −66.9 | 185.0 | −46.8 | 185.4 | 0.8 | 1600 |
| 1800 | 186.0 | −22.3 | 186.4 | −68.0 | 187.6 | −47.9 | 187.9 | −0.4 | 1800 |
| 2000 | 188.6 | −23.4 | 189.3 | −69.1 | 190.4 | −49.0 | 190.4 | −1.4 | 2000 |

| 历元 | 125 | BS4853 | 126 | BS4893 | 127 | BS4905 | 128 | BS4915 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 145.7 | −38.3 | 340.3 | 74.6 | 123.6 | 76.4 | 136.6 | 59.3 | −2000 |
| −1800 | 147.7 | −39.3 | 341.4 | 75.7 | 129.8 | 75.8 | 140.3 | 58.5 | −1800 |
| −1600 | 149.7 | −40.3 | 342.5 | 76.8 | 135.5 | 75.0 | 143.9 | 57.6 | −1600 |
| −1400 | 151.7 | −41.2 | 343.6 | 77.9 | 140.8 | 74.2 | 147.4 | 56.6 | −1400 |
| −1200 | 153.8 | −42.3 | 344.6 | 78.9 | 145.6 | 73.3 | 150.8 | 55.7 | −1200 |
| −1000 | 155.9 | −43.3 | 345.5 | 80.0 | 150.1 | 72.3 | 154.0 | 54.7 | −1000 |
| −800 | 157.9 | −44.3 | 346.4 | 81.1 | 154.2 | 71.3 | 157.2 | 53.7 | −800 |
| −600 | 160.1 | −45.4 | 347.2 | 82.2 | 158.1 | 70.3 | 160.2 | 52.6 | −600 |
| −400 | 162.2 | −46.4 | 347.8 | 83.3 | 161.6 | 69.2 | 163.2 | 51.6 | −400 |
| −200 | 164.4 | −47.5 | 348.1 | 84.4 | 165.0 | 68.1 | 166.1 | 50.5 | −200 |
| 0 | 166.6 | −48.6 | 348.0 | 85.5 | 168.2 | 67.1 | 168.9 | 49.4 | 0 |
| 200 | 168.9 | −49.7 | 347.0 | 86.6 | 171.2 | 65.9 | 171.6 | 48.3 | 200 |
| 400 | 171.2 | −50.8 | 343.9 | 87.7 | 174.0 | 64.8 | 174.3 | 47.2 | 400 |
| 600 | 173.5 | −51.9 | 333.3 | 88.7 | 176.8 | 63.7 | 176.9 | 46.1 | 600 |
| 800 | 175.9 | −53.0 | 273.5 | 89.5 | 179.4 | 62.6 | 179.5 | 44.9 | 800 |
| 1000 | 178.4 | −54.1 | 208.0 | 88.8 | 181.9 | 61.5 | 182.0 | 43.8 | 1000 |
| 1200 | 180.9 | −55.3 | 196.4 | 87.8 | 184.4 | 60.4 | 184.4 | 42.7 | 1200 |
| 1400 | 183.5 | −56.4 | 193.1 | 86.7 | 186.7 | 59.3 | 186.9 | 41.6 | 1400 |
| 1600 | 186.2 | −57.5 | 192.1 | 85.6 | 189.1 | 58.1 | 189.3 | 40.5 | 1600 |
| 1800 | 189.0 | −58.6 | 192.0 | 84.5 | 191.3 | 57.0 | 191.7 | 39.4 | 1800 |
| 2000 | 191.9 | −59.7 | 192.3 | 83.4 | 193.5 | 56.0 | 194.0 | 38.3 | 2000 |







| 历元 | 129 | BS4932 | 130 | BS5020 | 131 | BS5028 | 132 | BS5054 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 142.9 | 32.3 | 148.9 | −1.5 | 150.2 | −15.0 | 142.3 | 76.5 | −2000 |
| −1800 | 145.8 | 31.4 | 151.4 | −2.5 | 152.5 | −16.0 | 147.4 | 75.6 | −1800 |
| −1600 | 148.7 | 30.4 | 153.9 | −3.5 | 154.8 | −17.0 | 152.1 | 74.6 | −1600 |
| −1400 | 151.5 | 29.4 | 156.3 | −4.5 | 157.2 | −18.0 | 156.3 | 73.6 | −1400 |
| −1200 | 154.3 | 28.4 | 158.8 | −5.6 | 159.5 | −19.1 | 160.2 | 72.5 | −1200 |
| −1000 | 157.0 | 27.4 | 161.3 | −6.6 | 161.9 | −20.1 | 163.8 | 71.4 | −1000 |
| −800 | 159.7 | 26.4 | 163.8 | −7.7 | 164.3 | −21.2 | 167.2 | 70.3 | −800 |
| −600 | 162.4 | 25.3 | 166.2 | −8.8 | 166.7 | −22.3 | 170.3 | 69.2 | −600 |
| −400 | 165.1 | 24.2 | 168.7 | −9.9 | 169.1 | −23.4 | 173.2 | 68.1 | −400 |
| −200 | 167.7 | 23.1 | 171.2 | −11.0 | 171.5 | −24.5 | 176.0 | 67.0 | −200 |
| 0 | 170.3 | 22.0 | 173.7 | −12.1 | 174.0 | −25.7 | 178.7 | 65.9 | 0 |
| 200 | 172.9 | 20.9 | 176.2 | −13.2 | 176.4 | −26.8 | 181.2 | 64.8 | 200 |
| 400 | 175.5 | 19.8 | 178.8 | −14.4 | 178.9 | −27.9 | 183.7 | 63.6 | 400 |
| 600 | 178.0 | 18.7 | 181.3 | −15.5 | 181.4 | −29.0 | 186.0 | 62.5 | 600 |
| 800 | 180.5 | 17.6 | 183.9 | −16.6 | 184.0 | −30.2 | 188.3 | 61.4 | 800 |
| 1000 | 183.1 | 16.4 | 186.5 | −17.7 | 186.6 | −31.3 | 190.5 | 60.3 | 1000 |
| 1200 | 185.6 | 15.3 | 189.1 | −18.8 | 189.2 | −32.4 | 192.7 | 59.2 | 1200 |
| 1400 | 188.1 | 14.2 | 191.7 | −19.9 | 191.9 | −33.5 | 194.8 | 58.1 | 1400 |
| 1600 | 190.6 | 13.1 | 194.3 | −21.0 | 194.6 | −34.6 | 196.9 | 57.0 | 1600 |
| 1800 | 193.1 | 12.0 | 197.0 | −22.1 | 197.3 | −35.7 | 199.0 | 56.0 | 1800 |
| 2000 | 195.5 | 11.0 | 199.7 | −23.2 | 200.2 | −36.7 | 201.0 | 54.9 | 2000 |

| 历元 | 133 | BS5056 | 134 | BS5132 | 135 | BS5191 | 136 | BS5231 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 150.1 | 10.5 | 154.0 | −31.7 | 157.0 | 71.0 | 156.9 | −25.5 | −2000 |
| −1800 | 152.7 | 9.5 | 156.2 | −32.8 | 160.6 | 70.0 | 159.2 | −26.6 | −1800 |
| −1600 | 155.3 | 8.5 | 158.4 | −33.8 | 164.0 | 68.9 | 161.5 | −27.7 | −1600 |
| −1400 | 157.8 | 7.5 | 160.6 | −34.9 | 167.2 | 67.8 | 163.8 | −28.7 | −1400 |
| −1200 | 160.4 | 6.4 | 162.9 | −35.9 | 170.3 | 66.7 | 166.2 | −29.8 | −1200 |
| −1000 | 162.9 | 5.4 | 165.2 | −37.0 | 173.1 | 65.6 | 168.5 | −30.9 | −1000 |
| −800 | 165.5 | 4.3 | 167.5 | −38.1 | 175.9 | 64.5 | 170.9 | −32.1 | −800 |
| −600 | 168.0 | 3.2 | 169.8 | −39.2 | 178.5 | 63.3 | 173.4 | −33.2 | −600 |
| −400 | 170.6 | 2.1 | 172.2 | −40.3 | 181.0 | 62.2 | 175.8 | −34.3 | −400 |
| −200 | 173.1 | 0.9 | 174.6 | −41.4 | 183.5 | 61.1 | 178.3 | −35.4 | −200 |
| 0 | 175.6 | −0.2 | 177.1 | −42.6 | 185.8 | 60.0 | 180.8 | −36.5 | 0 |
| 200 | 178.1 | −1.3 | 179.6 | −43.7 | 188.1 | 58.9 | 183.4 | −37.7 | 200 |
| 400 | 180.7 | −2.4 | 182.1 | −44.8 | 190.3 | 57.7 | 186.0 | −38.8 | 400 |
| 600 | 183.2 | −3.5 | 184.7 | −45.9 | 192.5 | 56.6 | 188.6 | −39.9 | 600 |
| 800 | 185.8 | −4.7 | 187.4 | −47.0 | 194.7 | 55.6 | 191.3 | −41.0 | 800 |
| 1000 | 188.3 | −5.8 | 190.1 | −48.2 | 196.8 | 54.5 | 194.1 | −42.1 | 1000 |
| 1200 | 190.9 | −6.9 | 192.9 | −49.3 | 198.8 | 53.4 | 196.9 | −43.2 | 1200 |
| 1400 | 193.5 | −8.0 | 195.8 | −50.3 | 200.9 | 52.4 | 199.8 | −44.2 | 1400 |
| 1600 | 196.1 | −9.0 | 198.8 | −51.4 | 202.9 | 51.3 | 202.8 | −45.3 | 1600 |
| 1800 | 198.7 | −10.1 | 201.8 | −52.4 | 204.9 | 50.3 | 205.8 | −46.3 | 1800 |
| 2000 | 201.3 | −11.2 | 205.0 | −53.5 | 206.9 | 49.3 | 208.9 | −47.3 | 2000 |




| 历元 | 137 BS5235 | | 138 BS5267 | | 139 BS5288 | | 140 BS5315 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 158.2 | 40.5 | 157.8 | −38.7 | 159.9 | −14.2 | 162.0 | 11.1 | −2000 |
| −1800 | 161.0 | 39.4 | 160.0 | −39.7 | 162.3 | −15.3 | 164.5 | 10.0 | −1800 |
| −1600 | 163.8 | 38.3 | 162.2 | −40.8 | 164.7 | −16.4 | 167.1 | 9.0 | −1600 |
| −1400 | 166.5 | 37.2 | 164.4 | −41.9 | 167.1 | −17.5 | 169.6 | 7.9 | −1400 |
| −1200 | 169.2 | 36.1 | 166.7 | −43.0 | 169.5 | −18.6 | 172.2 | 6.8 | −1200 |
| −1000 | 171.8 | 34.9 | 168.9 | −44.1 | 171.9 | −19.8 | 174.7 | 5.6 | −1000 |
| −800 | 174.5 | 33.8 | 171.3 | −45.2 | 174.4 | −20.9 | 177.2 | 4.5 | −800 |
| −600 | 177.0 | 32.7 | 173.6 | −46.3 | 176.8 | −22.1 | 179.7 | 3.4 | −600 |
| −400 | 179.6 | 31.5 | 176.1 | −47.4 | 179.3 | −23.2 | 182.3 | 2.3 | −400 |
| −200 | 182.1 | 30.4 | 178.5 | −48.6 | 181.8 | −24.4 | 184.8 | 1.2 | −200 |
| 0 | 184.6 | 29.2 | 181.0 | −49.7 | 184.3 | −25.5 | 187.3 | 0.1 | 0 |
| 200 | 187.0 | 28.1 | 183.6 | −50.8 | 186.9 | −26.7 | 189.9 | −1.0 | 200 |
| 400 | 189.5 | 27.0 | 186.3 | −51.9 | 189.5 | −27.8 | 192.4 | −2.1 | 400 |
| 600 | 191.9 | 25.8 | 189.0 | −53.0 | 192.1 | −28.9 | 195.0 | −3.2 | 600 |
| 800 | 194.3 | 24.7 | 191.8 | −54.1 | 194.8 | −30.1 | 197.5 | −4.3 | 800 |
| 1000 | 196.7 | 23.6 | 194.7 | −55.2 | 197.5 | −31.2 | 200.1 | −5.3 | 1000 |
| 1200 | 199.1 | 22.6 | 197.8 | −56.3 | 200.2 | −32.2 | 202.7 | −6.4 | 1200 |
| 1400 | 201.5 | 21.5 | 200.9 | −57.4 | 203.0 | −33.3 | 205.3 | −7.4 | 1400 |
| 1600 | 203.9 | 20.4 | 204.1 | −58.4 | 205.8 | −34.4 | 207.9 | −8.4 | 1600 |
| 1800 | 206.3 | 19.4 | 207.5 | −59.4 | 208.7 | −35.4 | 210.6 | −9.3 | 1800 |
| 2000 | 208.7 | 18.4 | 211.0 | −60.4 | 211.7 | −36.4 | 213.2 | −10.3 | 2000 |

| 历元 | 141 BS5340 | | 142 BS5359 | | 143 BS5440 | | 144 BS5459 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 166.4 | 42.7 | 163.4 | 8.1 | 164.9 | −20.8 | 165.6 | −40.4 | −2000 |
| −1800 | 169.1 | 41.5 | 165.9 | 7.0 | 167.3 | −21.9 | 167.8 | −41.5 | −1800 |
| −1600 | 171.6 | 40.3 | 168.4 | 5.9 | 169.7 | −23.1 | 170.0 | −42.6 | −1600 |
| −1400 | 174.2 | 39.1 | 171.0 | 4.8 | 172.1 | −24.2 | 172.2 | −43.6 | −1400 |
| −1200 | 176.7 | 37.9 | 173.5 | 3.6 | 174.6 | −25.3 | 174.5 | −44.7 | −1200 |
| −1000 | 179.1 | 36.6 | 176.0 | 2.5 | 177.1 | −26.4 | 176.8 | −45.8 | −1000 |
| −800 | 181.6 | 35.4 | 178.5 | 1.4 | 179.6 | −27.5 | 179.2 | −46.9 | −800 |
| −600 | 184.0 | 34.2 | 181.1 | 0.3 | 182.1 | −28.7 | 181.6 | −48.0 | −600 |
| −400 | 186.3 | 33.0 | 183.6 | −0.8 | 184.7 | −29.8 | 184.1 | −49.0 | −400 |
| −200 | 188.7 | 31.7 | 186.1 | −2.0 | 187.3 | −30.9 | 186.6 | −50.1 | −200 |
| 0 | 191.0 | 30.5 | 188.6 | −3.1 | 189.9 | −32.0 | 189.2 | −51.2 | 0 |
| 200 | 193.3 | 29.3 | 191.2 | −4.2 | 192.6 | −33.1 | 191.8 | −52.2 | 200 |
| 400 | 195.7 | 28.1 | 193.7 | −5.3 | 195.3 | −34.2 | 194.5 | −53.3 | 400 |
| 600 | 197.9 | 26.9 | 196.3 | −6.4 | 198.0 | −35.3 | 197.4 | −54.3 | 600 |
| 800 | 200.2 | 25.8 | 198.9 | −7.4 | 200.8 | −36.4 | 200.3 | −55.3 | 800 |
| 1000 | 202.5 | 24.6 | 201.5 | −8.5 | 203.7 | −37.4 | 203.2 | −56.3 | 1000 |
| 1200 | 204.8 | 23.5 | 204.1 | −9.5 | 206.6 | −38.4 | 206.3 | −57.3 | 1200 |
| 1400 | 207.1 | 22.4 | 206.7 | −10.5 | 209.6 | −39.4 | 209.6 | −58.2 | 1400 |
| 1600 | 209.4 | 21.3 | 209.4 | −11.5 | 212.6 | −40.3 | 212.9 | −59.1 | 1600 |
| 1800 | 211.6 | 20.2 | 212.1 | −12.4 | 215.7 | −41.3 | 216.3 | −60.0 | 1800 |
| 2000 | 213.9 | 19.2 | 214.8 | −13.4 | 218.9 | −42.2 | 219.9 | −60.8 | 2000 |



| 历元 | 145 BS5469 | | 146 BS5506 | | 147 BS5531 | | 148 BS5563 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 165.6 | −26.2 | 175.3 | 47.7 | 171.0 | 4.9 | 299.5 | 82.1 | −2000 |
| −1800 | 167.9 | −27.3 | 177.8 | 46.6 | 173.5 | 3.7 | 294.5 | 82.6 | −1800 |
| −1600 | 170.3 | −28.4 | 180.4 | 45.5 | 176.0 | 2.6 | 288.7 | 83.0 | −1600 |
| −1400 | 172.8 | −29.5 | 182.8 | 44.4 | 178.5 | 1.5 | 282.2 | 83.3 | −1400 |
| −1200 | 175.2 | −30.6 | 185.3 | 43.2 | 181.0 | 0.3 | 275.1 | 83.5 | −1200 |
| −1000 | 177.7 | −31.8 | 187.7 | 42.1 | 183.5 | −0.8 | 267.8 | 83.5 | −1000 |
| −800 | 180.2 | −32.9 | 190.0 | 41.0 | 186.0 | −1.9 | 260.6 | 83.4 | −800 |
| −600 | 182.7 | −34.0 | 192.4 | 39.9 | 188.5 | −3.0 | 253.8 | 83.1 | −600 |
| −400 | 185.3 | −35.1 | 194.7 | 38.8 | 191.1 | −4.1 | 247.7 | 82.7 | −400 |
| −200 | 187.9 | −36.2 | 196.9 | 37.7 | 193.6 | −5.2 | 242.5 | 82.3 | −200 |
| 0 | 190.6 | −37.4 | 199.2 | 36.7 | 196.2 | −6.3 | 238.1 | 81.7 | 0 |
| 200 | 193.3 | −38.5 | 201.5 | 35.6 | 198.7 | −7.4 | 234.5 | 81.1 | 200 |
| 400 | 196.1 | −39.5 | 203.7 | 34.6 | 201.3 | −8.5 | 231.5 | 80.4 | 400 |
| 600 | 198.9 | −40.6 | 205.9 | 33.6 | 203.9 | −9.5 | 229.1 | 79.7 | 600 |
| 800 | 201.8 | −41.7 | 208.1 | 32.6 | 206.5 | −10.5 | 227.2 | 79.0 | 800 |
| 1000 | 204.7 | −42.7 | 210.3 | 31.6 | 209.2 | −11.5 | 225.7 | 78.2 | 1000 |
| 1200 | 207.7 | −43.7 | 212.5 | 30.6 | 211.8 | −12.5 | 224.6 | 77.4 | 1200 |
| 1400 | 210.8 | −44.7 | 214.7 | 29.7 | 214.5 | −13.4 | 223.8 | 76.6 | 1400 |
| 1600 | 213.9 | −45.6 | 216.9 | 28.8 | 217.2 | −14.3 | 223.2 | 75.8 | 1600 |
| 1800 | 217.2 | −46.5 | 219.1 | 27.9 | 220.0 | −15.2 | 222.9 | 75.0 | 1800 |
| 2000 | 220.5 | −47.4 | 221.2 | 27.1 | 222.7 | −16.0 | 222.7 | 74.2 | 2000 |

| 历元 | 149 BS5571 | | 150 BS5652 | | 151 BS5671 | | 152 BS5685 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 169.3 | −22.3 | 175.5 | 0.5 | 167.3 | −47.9 | 178.2 | 10.6 | −2000 |
| −1800 | 171.7 | −23.4 | 178.0 | −0.6 | 169.5 | −49.0 | 180.7 | 9.5 | −1800 |
| −1600 | 174.2 | −24.5 | 180.5 | −1.8 | 171.8 | −50.1 | 183.2 | 8.3 | −1600 |
| −1400 | 176.7 | −25.6 | 183.0 | −2.9 | 174.2 | −51.3 | 185.7 | 7.2 | −1400 |
| −1200 | 179.1 | −26.8 | 185.5 | −4.0 | 176.6 | −52.4 | 188.2 | 6.1 | −1200 |
| −1000 | 181.7 | −27.9 | 188.0 | −5.2 | 179.0 | −53.5 | 190.7 | 5.0 | −1000 |
| −800 | 184.2 | −29.0 | 190.5 | −6.3 | 181.5 | −54.6 | 193.1 | 3.9 | −800 |
| −600 | 186.8 | −30.1 | 193.1 | −7.4 | 184.1 | −55.8 | 195.6 | 2.8 | −600 |
| −400 | 189.4 | −31.3 | 195.7 | −8.5 | 186.8 | −56.9 | 198.2 | 1.7 | −400 |
| −200 | 192.1 | −32.4 | 198.2 | −9.5 | 189.6 | −58.0 | 200.7 | 0.6 | −200 |
| 0 | 194.8 | −33.5 | 200.8 | −10.6 | 192.5 | −59.1 | 203.2 | −0.4 | 0 |
| 200 | 197.5 | −34.5 | 203.4 | −11.6 | 195.5 | −60.2 | 205.7 | −1.4 | 200 |
| 400 | 200.3 | −35.6 | 206.1 | −12.7 | 198.6 | −61.3 | 208.3 | −2.4 | 400 |
| 600 | 203.1 | −36.6 | 208.7 | −13.7 | 201.8 | −62.3 | 210.8 | −3.4 | 600 |
| 800 | 206.0 | −37.7 | 211.4 | −14.6 | 205.3 | −63.4 | 213.4 | −4.4 | 800 |
| 1000 | 209.0 | −38.7 | 214.1 | −15.6 | 208.8 | −64.3 | 216.0 | −5.3 | 1000 |
| 1200 | 212.0 | −39.6 | 216.9 | −16.5 | 212.6 | −65.3 | 218.6 | −6.2 | 1200 |
| 1400 | 215.0 | −40.6 | 219.6 | −17.4 | 216.6 | −66.2 | 221.2 | −7.0 | 1400 |
| 1600 | 218.2 | −41.5 | 222.4 | −18.2 | 220.7 | −67.1 | 223.9 | −7.8 | 1600 |
| 1800 | 221.4 | −42.3 | 225.2 | −19.0 | 225.1 | −67.9 | 226.6 | −8.6 | 1800 |
| 2000 | 224.6 | −43.1 | 228.1 | −19.8 | 229.7 | −68.7 | 229.3 | −9.4 | 2000 |





| 历元 | 153 BS5776 | | 154 BS5787 | | 155 BS5793 | | 156 BS5854 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 176.8 | −21.4 | 181.6 | 4.5 | 190.8 | 45.3 | 187.9 | 24.9 | −2000 |
| −1800 | 179.3 | −22.5 | 184.1 | 3.4 | 193.0 | 44.2 | 190.3 | 23.8 | −1800 |
| −1600 | 181.8 | −23.7 | 186.6 | 2.3 | 195.3 | 43.1 | 192.7 | 22.7 | −1600 |
| −1400 | 184.4 | −24.8 | 189.1 | 1.1 | 197.5 | 42.0 | 195.1 | 21.6 | −1400 |
| −1200 | 186.9 | −25.9 | 191.7 | 0 | 199.7 | 41.0 | 197.5 | 20.5 | −1200 |
| −1000 | 189.5 | −27.0 | 194.2 | −1.1 | 201.9 | 39.9 | 199.9 | 19.5 | −1000 |
| −800 | 192.2 | −28.2 | 196.7 | −2.2 | 204.1 | 38.9 | 202.3 | 18.4 | −800 |
| −600 | 194.8 | −29.2 | 199.2 | −3.2 | 206.2 | 37.8 | 204.7 | 17.4 | −600 |
| −400 | 197.5 | −30.3 | 201.8 | −4.3 | 208.3 | 36.8 | 207.1 | 16.4 | −400 |
| −200 | 200.3 | −31.4 | 204.4 | −5.3 | 210.5 | 35.8 | 209.5 | 15.4 | −200 |
| 0 | 203.1 | −32.4 | 207.0 | −6.3 | 212.6 | 34.9 | 211.9 | 14.4 | 0 |
| 200 | 205.9 | −33.5 | 209.6 | −7.3 | 214.7 | 33.9 | 214.3 | 13.5 | 200 |
| 400 | 208.8 | −34.5 | 212.2 | −8.3 | 216.8 | 33.0 | 216.6 | 12.6 | 400 |
| 600 | 211.7 | −35.4 | 214.8 | −9.2 | 218.9 | 32.1 | 219.0 | 11.7 | 600 |
| 800 | 214.7 | −36.4 | 217.5 | −10.1 | 221.0 | 31.3 | 221.4 | 10.8 | 800 |
| 1000 | 217.7 | −37.3 | 220.1 | −11.0 | 223.1 | 30.4 | 223.9 | 10.0 | 1000 |
| 1200 | 220.8 | −38.1 | 222.8 | −11.8 | 225.2 | 29.6 | 226.3 | 9.2 | 1200 |
| 1400 | 224.0 | −39.0 | 225.6 | −12.6 | 227.3 | 28.9 | 228.7 | 8.5 | 1400 |
| 1600 | 227.2 | −39.7 | 228.3 | −13.4 | 229.4 | 28.1 | 231.2 | 7.7 | 1600 |
| 1800 | 230.5 | −40.5 | 231.1 | −14.1 | 231.6 | 27.4 | 233.6 | 7.1 | 1800 |
| 2000 | 233.8 | −41.2 | 233.9 | −14.8 | 233.7 | 26.7 | 236.1 | 6.4 | 2000 |

| 历元 | 157 BS5897 | | 158 BS5944 | | 159 BS5953 | | 160 BS5984 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 174.5 | −43.4 | 184.9 | −7.6 | 186.0 | −4.3 | 187.7 | −1.8 | −2000 |
| −1800 | 177.0 | −44.5 | 187.4 | −8.7 | 188.5 | −5.4 | 190.2 | −2.9 | −1800 |
| −1600 | 179.4 | −45.7 | 190.0 | −9.9 | 191.0 | −6.5 | 192.8 | −4.0 | −1600 |
| −1400 | 181.9 | −46.8 | 192.5 | −11.0 | 193.6 | −7.6 | 195.3 | −5.1 | −1400 |
| −1200 | 184.5 | −48.0 | 195.1 | −12.1 | 196.1 | −8.7 | 197.8 | −6.2 | −1200 |
| −1000 | 187.1 | −49.1 | 197.7 | −13.2 | 198.7 | −9.8 | 200.4 | −7.3 | −1000 |
| −800 | 189.8 | −50.3 | 200.3 | −14.2 | 201.3 | −10.9 | 203.0 | −8.3 | −800 |
| −600 | 192.6 | −51.4 | 202.9 | −15.3 | 203.9 | −11.9 | 205.6 | −9.3 | −600 |
| −400 | 195.4 | −52.5 | 205.6 | −16.3 | 206.5 | −12.9 | 208.2 | −10.3 | −400 |
| −200 | 198.4 | −53.6 | 208.2 | −17.3 | 209.1 | −13.9 | 210.8 | −11.3 | −200 |
| 0 | 201.4 | −54.7 | 210.9 | −18.3 | 211.8 | −14.9 | 213.5 | −12.3 | 0 |
| 200 | 204.6 | −55.7 | 213.7 | −19.2 | 214.5 | −15.8 | 216.1 | −13.2 | 200 |
| 400 | 207.8 | −56.8 | 216.4 | −20.1 | 217.3 | −16.7 | 218.8 | −14.1 | 400 |
| 600 | 211.2 | −57.7 | 219.2 | −21.0 | 220.0 | −17.6 | 221.6 | −14.9 | 600 |
| 800 | 214.7 | −58.7 | 222.1 | −21.9 | 222.8 | −18.4 | 224.3 | −15.8 | 800 |
| 1000 | 218.4 | −59.6 | 224.9 | −22.7 | 225.6 | −19.2 | 227.1 | −16.5 | 1000 |
| 1200 | 222.2 | −60.5 | 227.8 | −23.5 | 228.4 | −20.0 | 229.9 | −17.3 | 1200 |
| 1400 | 226.1 | −61.3 | 230.7 | −24.2 | 231.3 | −20.7 | 232.7 | −18.0 | 1400 |
| 1600 | 230.2 | −62.1 | 233.7 | −24.9 | 234.2 | −21.4 | 235.6 | −18.6 | 1600 |
| 1800 | 234.4 | −62.8 | 236.7 | −25.5 | 237.1 | −22.0 | 238.5 | −19.3 | 1800 |
| 2000 | 238.8 | −63.4 | 239.7 | −26.1 | 240.1 | −22.6 | 241.4 | −19.8 | 2000 |







| 历元 | 161 | BS5993 | 162 | BS6027 | 163 | BS6056 | 164 | BS6084 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 187.9 | −2.7 | 189.3 | −1.8 | 193.6 | 13.6 | 190.0 | −8.2 | −2000 |
| −1800 | 190.4 | −3.8 | 191.8 | −2.9 | 196.0 | 12.5 | 192.5 | −9.4 | −1800 |
| −1600 | 192.9 | −4.9 | 194.4 | −4.0 | 198.4 | 11.4 | 195.1 | −10.4 | −1600 |
| −1400 | 195.4 | −6.0 | 196.9 | −5.1 | 200.9 | 10.3 | 197.6 | −11.5 | −1400 |
| −1200 | 198.0 | −7.1 | 199.4 | −6.2 | 203.3 | 9.3 | 200.2 | −12.6 | −1200 |
| −1000 | 200.5 | −8.2 | 202.0 | −7.2 | 205.7 | 8.2 | 202.8 | −13.7 | −1000 |
| −800 | 203.1 | −9.2 | 204.6 | −8.3 | 208.2 | 7.2 | 205.5 | −14.7 | −800 |
| −600 | 205.7 | −10.2 | 207.2 | −9.3 | 210.6 | 6.2 | 208.1 | −15.7 | −600 |
| −400 | 208.3 | −11.2 | 209.8 | −10.3 | 213.1 | 5.3 | 210.8 | −16.7 | −400 |
| −200 | 211.0 | −12.2 | 212.4 | −11.2 | 215.6 | 4.3 | 213.5 | −17.6 | −200 |
| 0 | 213.7 | −13.2 | 215.1 | −12.2 | 218.1 | 3.4 | 216.3 | −18.5 | 0 |
| 200 | 216.3 | −14.1 | 217.8 | −13.1 | 220.5 | 2.5 | 219.0 | −19.4 | 200 |
| 400 | 219.1 | −15.0 | 220.5 | −13.9 | 223.0 | 1.7 | 221.8 | −20.3 | 400 |
| 600 | 221.8 | −15.8 | 223.2 | −14.8 | 225.6 | 0.9 | 224.7 | −21.1 | 600 |
| 800 | 224.6 | −16.7 | 226.0 | −15.6 | 228.1 | 0.1 | 227.5 | −21.9 | 800 |
| 1000 | 227.4 | −17.4 | 228.7 | −16.3 | 230.6 | −0.6 | 230.4 | −22.6 | 1000 |
| 1200 | 230.2 | −18.2 | 231.5 | −17.0 | 233.2 | −1.3 | 233.3 | −23.3 | 1200 |
| 1400 | 233.0 | −18.9 | 234.4 | −17.7 | 235.8 | −2.0 | 236.3 | −24.0 | 1400 |
| 1600 | 235.9 | −19.5 | 237.2 | −18.3 | 238.4 | −2.6 | 239.3 | −24.6 | 1600 |
| 1800 | 238.8 | −20.1 | 240.1 | −18.9 | 241.0 | −3.2 | 242.3 | −25.1 | 1800 |
| 2000 | 241.7 | −20.7 | 243.0 | −19.5 | 243.6 | −3.7 | 245.3 | −25.6 | 2000 |

| 历元 | 165 | BS6132 | 166 | BS6134 | 167 | BS6148 | 168 | BS6165 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 241.9 | 72.0 | 191.6 | −9.5 | 205.2 | 36.7 | 192.5 | −11.6 | −2000 |
| −1800 | 241.4 | 71.5 | 194.1 | −10.6 | 207.4 | 35.6 | 195.1 | −12.7 | −1800 |
| −1600 | 241.0 | 70.9 | 196.7 | −11.7 | 209.5 | 34.7 | 197.7 | −13.8 | −1600 |
| −1400 | 240.7 | 70.4 | 199.3 | −12.8 | 211.6 | 33.7 | 200.3 | −14.9 | −1400 |
| −1200 | 240.5 | 69.8 | 201.9 | −13.8 | 213.7 | 32.7 | 202.9 | −15.9 | −1200 |
| −1000 | 240.4 | 69.3 | 204.5 | −14.9 | 215.8 | 31.8 | 205.6 | −16.9 | −1000 |
| −800 | 240.4 | 68.7 | 207.2 | −15.9 | 217.9 | 30.9 | 208.2 | −17.9 | −800 |
| −600 | 240.4 | 68.2 | 209.8 | −16.9 | 220.0 | 30.0 | 210.9 | −18.9 | −600 |
| −400 | 240.6 | 67.6 | 212.5 | −17.8 | 222.1 | 29.2 | 213.7 | −19.9 | −400 |
| −200 | 240.7 | 67.1 | 215.3 | −18.8 | 224.2 | 28.4 | 216.4 | −20.8 | −200 |
| 0 | 241.0 | 66.5 | 218.0 | −19.7 | 226.3 | 27.6 | 219.2 | −21.7 | 0 |
| 200 | 241.3 | 66.0 | 220.8 | −20.5 | 228.4 | 26.8 | 222.1 | −22.5 | 200 |
| 400 | 241.6 | 65.5 | 223.7 | −21.4 | 230.5 | 26.1 | 224.9 | −23.3 | 400 |
| 600 | 242.0 | 64.9 | 226.5 | −22.2 | 232.6 | 25.4 | 227.8 | −24.1 | 600 |
| 800 | 242.5 | 64.4 | 229.4 | −22.9 | 234.7 | 24.7 | 230.7 | −24.9 | 800 |
| 1000 | 243.0 | 63.9 | 232.3 | −23.6 | 236.9 | 24.1 | 233.7 | −25.5 | 1000 |
| 1200 | 243.5 | 63.4 | 235.3 | −24.3 | 239.0 | 23.5 | 236.7 | −26.2 | 1200 |
| 1400 | 244.1 | 62.9 | 238.2 | −24.9 | 241.1 | 22.9 | 239.7 | −26.8 | 1400 |
| 1600 | 244.7 | 62.4 | 241.3 | −25.5 | 243.3 | 22.4 | 242.8 | −27.3 | 1600 |
| 1800 | 245.3 | 62.0 | 244.3 | −26.0 | 245.4 | 21.9 | 245.9 | −27.8 | 1800 |
| 2000 | 246.0 | 61.5 | 247.4 | −26.4 | 247.6 | 21.5 | 249.0 | −28.2 | 2000 |





| 历元 | 169 | BS6175 | 170 | BS6212 | 171 | BS6217 | 172 | BS6241 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 197.3 | 5.3 | 213.1 | 44.8 | 178.8 | −50.9 | 194.5 | −18.2 | −2000 |
| −1800 | 199.8 | 4.3 | 214.9 | 43.9 | 181.3 | −52.0 | 197.1 | −19.3 | −1800 |
| −1600 | 202.3 | 3.2 | 216.8 | 43.0 | 183.9 | −53.1 | 199.7 | −20.4 | −1600 |
| −1400 | 204.8 | 2.2 | 218.7 | 42.1 | 186.5 | −54.3 | 202.3 | −21.4 | −1400 |
| −1200 | 207.3 | 1.2 | 220.5 | 41.3 | 189.3 | −55.4 | 205.0 | −22.5 | −1200 |
| −1000 | 209.8 | 0.2 | 222.4 | 40.5 | 192.1 | −56.5 | 207.7 | −23.5 | −1000 |
| −800 | 212.3 | −0.8 | 224.2 | 39.7 | 195.0 | −57.6 | 210.4 | −24.5 | −800 |
| −600 | 214.8 | −1.7 | 226.1 | 38.9 | 198.0 | −58.7 | 213.2 | −25.4 | −600 |
| −400 | 217.4 | −2.6 | 227.9 | 38.2 | 201.2 | −59.7 | 216.0 | −26.4 | −400 |
| −200 | 219.9 | −3.5 | 229.8 | 37.5 | 204.5 | −60.8 | 218.8 | −27.3 | −200 |
| 0 | 222.5 | −4.3 | 231.6 | 36.8 | 207.9 | −61.8 | 221.7 | −28.1 | 0 |
| 200 | 225.1 | −5.2 | 233.5 | 36.1 | 211.5 | −62.7 | 224.6 | −29.0 | 200 |
| 400 | 227.7 | −5.9 | 235.3 | 35.5 | 215.3 | −63.7 | 227.5 | −29.7 | 400 |
| 600 | 230.4 | −6.7 | 237.2 | 34.9 | 219.2 | −64.6 | 230.5 | −30.5 | 600 |
| 800 | 233.0 | −7.4 | 239.1 | 34.3 | 223.3 | −65.4 | 233.6 | −31.2 | 800 |
| 1000 | 235.7 | −8.0 | 240.9 | 33.8 | 227.7 | −66.2 | 236.7 | −31.8 | 1000 |
| 1200 | 238.4 | −8.6 | 242.8 | 33.3 | 232.2 | −66.9 | 239.8 | −32.4 | 1200 |
| 1400 | 241.1 | −9.2 | 244.7 | 32.8 | 236.9 | −67.6 | 242.9 | −33.0 | 1400 |
| 1600 | 243.8 | −9.7 | 246.5 | 32.4 | 241.8 | −68.2 | 246.1 | −33.5 | 1600 |
| 1800 | 246.5 | −10.2 | 248.4 | 32.0 | 246.9 | −68.6 | 249.3 | −33.9 | 1800 |
| 2000 | 249.3 | −10.6 | 250.3 | 31.6 | 252.2 | −69.0 | 252.5 | −34.3 | 2000 |

| 历元 | 173 | BS6247 | 174 | BS6378 | 175 | BS6453 | 176 | BS6461 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 193.1 | −22.0 | 203.6 | −1.9 | 203.5 | −11.4 | 192.3 | −40.3 | −2000 |
| −1800 | 195.7 | −23.1 | 206.2 | −2.9 | 206.1 | −12.5 | 195.0 | −41.4 | −1800 |
| −1600 | 198.3 | −24.1 | 208.7 | −3.9 | 208.8 | −13.5 | 197.8 | −42.5 | −1600 |
| −1400 | 201.0 | −25.2 | 211.3 | −4.9 | 211.4 | −14.5 | 200.7 | −43.6 | −1400 |
| −1200 | 203.7 | −26.3 | 213.8 | −5.8 | 214.1 | −15.4 | 203.6 | −44.6 | −1200 |
| −1000 | 206.5 | −27.3 | 216.4 | −6.7 | 216.8 | −16.3 | 206.6 | −45.6 | −1000 |
| −800 | 209.3 | −28.3 | 219.0 | −7.6 | 219.5 | −17.2 | 209.7 | −46.6 | −800 |
| −600 | 212.1 | −29.2 | 221.7 | −8.5 | 222.3 | −18.1 | 212.8 | −47.6 | −600 |
| −400 | 215.0 | −30.2 | 224.3 | −9.3 | 225.1 | −18.9 | 216.0 | −48.5 | −400 |
| −200 | 217.9 | −31.1 | 227.0 | −10.1 | 227.9 | −19.7 | 219.4 | −49.4 | −200 |
| 0 | 220.9 | −32.0 | 229.7 | −10.8 | 230.7 | −20.4 | 222.8 | −50.3 | 0 |
| 200 | 223.9 | −32.8 | 232.4 | −11.5 | 233.6 | −21.1 | 226.3 | −51.1 | 200 |
| 400 | 227.0 | −33.6 | 235.1 | −12.2 | 236.5 | −21.7 | 229.8 | −51.8 | 400 |
| 600 | 230.1 | −34.3 | 237.9 | −12.8 | 239.4 | −22.3 | 233.5 | −52.5 | 600 |
| 800 | 233.2 | −35.0 | 240.6 | −13.4 | 242.4 | −22.9 | 237.3 | −53.1 | 800 |
| 1000 | 236.4 | −35.7 | 243.4 | −13.9 | 245.3 | −23.4 | 241.1 | −53.7 | 1000 |
| 1200 | 239.6 | −36.3 | 246.2 | −14.4 | 248.3 | −23.8 | 245.0 | −54.2 | 1200 |
| 1400 | 242.9 | −36.8 | 249.0 | −14.8 | 251.3 | −24.2 | 249.0 | −54.7 | 1400 |
| 1600 | 246.2 | −37.3 | 251.9 | −15.1 | 254.4 | −24.5 | 253.1 | −55.0 | 1600 |
| 1800 | 249.6 | −37.7 | 254.7 | −15.5 | 257.4 | −24.8 | 257.2 | −55.3 | 1800 |
| 2000 | 253.0 | −38.1 | 257.6 | −15.7 | 260.5 | −25.0 | 261.3 | −55.5 | 2000 |






| 历元 | 177 | BS6508 | 178 | BS6510 | 179 | BS6527 | 180 | BS6536 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 201.2 | −23.7 | 196.3 | −35.5 | 201.9 | −23.7 | 242.5 | 59.2 | −2000 |
| −1800 | 203.9 | −24.7 | 199.0 | −36.5 | 204.6 | −24.7 | 243.3 | 58.7 | −1800 |
| −1600 | 206.7 | −25.7 | 201.8 | −37.6 | 207.3 | −25.7 | 244.2 | 58.2 | −1600 |
| −1400 | 209.4 | −26.7 | 204.7 | −38.6 | 210.1 | −26.7 | 245.1 | 57.7 | −1400 |
| −1200 | 212.3 | −27.7 | 207.6 | −39.7 | 212.9 | −27.7 | 246.0 | 57.2 | −1200 |
| −1000 | 215.1 | −28.7 | 210.6 | −40.6 | 215.8 | −28.6 | 246.9 | 56.8 | −1000 |
| −800 | 218.0 | −29.6 | 213.6 | −41.6 | 218.7 | −29.5 | 247.8 | 56.3 | −800 |
| −600 | 220.9 | −30.4 | 216.7 | −42.5 | 221.6 | −30.4 | 248.8 | 55.9 | −600 |
| −400 | 223.9 | −31.3 | 219.9 | −43.4 | 224.6 | −31.2 | 249.8 | 55.5 | −400 |
| −200 | 226.9 | −32.1 | 223.1 | −44.3 | 227.6 | −32.0 | 250.8 | 55.1 | −200 |
| 0 | 230.0 | −32.8 | 226.5 | −45.1 | 230.7 | −32.7 | 251.8 | 54.8 | 0 |
| 200 | 233.1 | −33.5 | 229.8 | −45.8 | 233.8 | −33.4 | 252.8 | 54.4 | 200 |
| 400 | 236.2 | −34.2 | 233.3 | −46.5 | 237.0 | −34.1 | 253.9 | 54.1 | 400 |
| 600 | 239.4 | −34.8 | 236.8 | −47.2 | 240.2 | −34.6 | 254.9 | 53.8 | 600 |
| 800 | 242.7 | −35.3 | 240.4 | −47.7 | 243.4 | −35.2 | 256.0 | 53.5 | 800 |
| 1000 | 245.9 | −35.8 | 244.0 | −48.3 | 246.7 | −35.7 | 257.1 | 53.3 | 1000 |
| 1200 | 249.2 | −36.2 | 247.7 | −48.7 | 250.0 | −36.1 | 258.2 | 53.0 | 1200 |
| 1400 | 252.6 | −36.6 | 251.5 | −49.1 | 253.3 | −36.4 | 259.3 | 52.8 | 1400 |
| 1600 | 255.9 | −36.9 | 255.3 | −49.5 | 256.6 | −36.7 | 260.4 | 52.6 | 1600 |
| 1800 | 259.3 | −37.1 | 259.1 | −49.7 | 260.0 | −36.9 | 261.5 | 52.5 | 1800 |
| 2000 | 262.7 | −37.3 | 263.0 | −49.9 | 263.4 | −37.1 | 262.6 | 52.3 | 2000 |

| 历元 | 181 | BS6553 | 182 | BS6556 | 183 | BS6580 | 184 | BS6603 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 200.3 | −29.5 | 218.6 | 23.5 | 203.0 | −26.1 | 217.9 | 14.8 | −2000 |
| −1800 | 203.0 | −30.5 | 220.8 | 22.6 | 205.7 | −27.1 | 220.2 | 13.9 | −1800 |
| −1600 | 205.8 | −31.6 | 223.0 | 21.7 | 208.5 | −28.1 | 222.6 | 13.1 | −1600 |
| −1400 | 208.7 | −32.6 | 225.2 | 20.9 | 211.3 | −29.1 | 224.9 | 12.3 | −1400 |
| −1200 | 211.5 | −33.5 | 227.4 | 20.1 | 214.2 | −30.1 | 227.2 | 11.5 | −1200 |
| −1000 | 214.5 | −34.5 | 229.7 | 19.4 | 217.1 | −31.0 | 229.6 | 10.7 | −1000 |
| −800 | 217.5 | −35.4 | 231.9 | 18.6 | 220.0 | −31.9 | 232.0 | 10.0 | −800 |
| −600 | 220.5 | −36.3 | 234.1 | 17.9 | 223.0 | −32.7 | 234.3 | 9.4 | −600 |
| −400 | 223.6 | −37.1 | 236.3 | 17.3 | 226.0 | −33.5 | 236.7 | 8.8 | −400 |
| −200 | 226.7 | −37.9 | 238.6 | 16.7 | 229.1 | −34.3 | 239.1 | 8.2 | −200 |
| 0 | 229.9 | −38.7 | 240.8 | 16.1 | 232.2 | −35.0 | 241.5 | 7.6 | 0 |
| 200 | 233.2 | −39.4 | 243.1 | 15.5 | 235.4 | −35.7 | 243.9 | 7.1 | 200 |
| 400 | 236.5 | −40.0 | 245.4 | 15.0 | 238.6 | −36.3 | 246.3 | 6.6 | 400 |
| 600 | 239.8 | −40.6 | 247.6 | 14.6 | 241.9 | −36.8 | 248.7 | 6.2 | 600 |
| 800 | 243.2 | −41.1 | 249.9 | 14.2 | 245.2 | −37.3 | 251.1 | 5.9 | 800 |
| 1000 | 246.6 | −41.6 | 252.2 | 13.8 | 248.5 | −37.8 | 253.6 | 5.5 | 1000 |
| 1200 | 250.1 | −42.0 | 254.5 | 13.5 | 251.9 | −38.2 | 256.0 | 5.2 | 1200 |
| 1400 | 253.6 | −42.4 | 256.8 | 13.2 | 255.3 | −38.5 | 258.5 | 5.0 | 1400 |
| 1600 | 257.2 | −42.6 | 259.1 | 12.9 | 258.7 | −38.7 | 260.9 | 4.8 | 1600 |
| 1800 | 260.7 | −42.9 | 261.4 | 12.7 | 262.2 | −38.9 | 263.4 | 4.7 | 1800 |
| 2000 | 264.3 | −43.0 | 263.7 | 12.6 | 265.6 | −39.0 | 265.9 | 4.6 | 2000 |





| 历元 | 185 BS6705 | | 186 BS6746 | | 187 BS6812 | | 188 BS6859 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 247.7 | 56.1 | 211.3 | −19.6 | 216.3 | −11.7 | 214.6 | −20.4 | −2000 |
| −1800 | 248.6 | 55.7 | 214.0 | −20.6 | 219.0 | −12.6 | 217.4 | −21.3 | −1800 |
| −1600 | 249.6 | 55.3 | 216.8 | −21.5 | 221.7 | −13.4 | 220.2 | −22.2 | −1600 |
| −1400 | 250.6 | 54.9 | 219.5 | −22.4 | 224.4 | −14.3 | 223.0 | −23.1 | −1400 |
| −1200 | 251.6 | 54.6 | 222.4 | −23.3 | 227.1 | −15.0 | 225.8 | −23.9 | −1200 |
| −1000 | 252.6 | 54.2 | 225.2 | −24.1 | 229.8 | −15.8 | 228.7 | −24.6 | −1000 |
| −800 | 253.6 | 53.9 | 228.1 | −24.9 | 232.6 | −16.5 | 231.7 | −25.4 | −800 |
| −600 | 254.7 | 53.6 | 231.0 | −25.6 | 235.4 | −17.2 | 234.6 | −26.0 | −600 |
| −400 | 255.7 | 53.3 | 234.0 | −26.3 | 238.2 | −17.8 | 237.6 | −26.7 | −400 |
| −200 | 256.8 | 53.0 | 236.9 | −27.0 | 241.1 | −18.3 | 240.6 | −27.2 | −200 |
| 0 | 257.9 | 52.8 | 240.0 | −27.6 | 243.9 | −18.9 | 243.7 | −27.8 | 0 |
| 200 | 259.0 | 52.6 | 243.0 | −28.1 | 246.8 | −19.3 | 246.7 | −28.2 | 200 |
| 400 | 260.1 | 52.3 | 246.1 | −28.6 | 249.7 | −19.8 | 249.8 | −28.7 | 400 |
| 600 | 261.2 | 52.2 | 249.2 | −29.0 | 252.6 | −20.1 | 253.0 | −29.0 | 600 |
| 800 | 262.3 | 52.0 | 252.3 | −29.4 | 255.6 | −20.4 | 256.1 | −29.3 | 800 |
| 1000 | 263.4 | 51.9 | 255.5 | −29.7 | 258.5 | −20.7 | 259.3 | −29.6 | 1000 |
| 1200 | 264.5 | 51.7 | 258.6 | −30.0 | 261.5 | −20.9 | 262.5 | −29.7 | 1200 |
| 1400 | 265.7 | 51.6 | 261.8 | −30.2 | 264.5 | −21.0 | 265.7 | −29.9 | 1400 |
| 1600 | 266.8 | 51.6 | 265.0 | −30.3 | 267.5 | −21.1 | 268.8 | −29.9 | 1600 |
| 1800 | 268.0 | 51.5 | 268.2 | −30.4 | 270.4 | −21.1 | 272.0 | −29.9 | 1800 |
| 2000 | 269.2 | 51.5 | 271.5 | −30.4 | 273.4 | −21.1 | 275.2 | −29.8 | 2000 |

| 历元 | 189 BS6879 | | 190 BS6913 | | 191 BS7001 | | 192 BS7039 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 213.5 | −24.8 | 218.0 | −16.7 | 246.1 | 41.4 | 221.1 | −19.8 | −2000 |
| −1800 | 216.3 | −25.7 | 220.7 | −17.6 | 247.7 | 41.0 | 223.9 | −20.7 | −1800 |
| −1600 | 219.2 | −26.6 | 223.5 | −18.5 | 249.3 | 40.6 | 226.7 | −21.5 | −1600 |
| −1400 | 222.1 | −27.5 | 226.2 | −19.3 | 250.9 | 40.2 | 229.5 | −22.2 | −1400 |
| −1200 | 225.0 | −28.3 | 229.0 | −20.1 | 252.6 | 39.9 | 232.4 | −22.9 | −1200 |
| −1000 | 227.9 | −29.1 | 231.9 | −20.8 | 254.2 | 39.6 | 235.3 | −23.6 | −1000 |
| −800 | 230.9 | −29.8 | 234.7 | −21.5 | 255.8 | 39.3 | 238.3 | −24.2 | −800 |
| −600 | 234.0 | −30.5 | 237.6 | −22.1 | 257.5 | 39.0 | 241.2 | −24.8 | −600 |
| −400 | 237.1 | −31.2 | 240.5 | −22.7 | 259.1 | 38.8 | 244.2 | −25.3 | −400 |
| −200 | 240.2 | −31.8 | 243.5 | −23.2 | 260.8 | 38.6 | 247.2 | −25.8 | −200 |
| 0 | 243.3 | −32.3 | 246.4 | −23.7 | 262.4 | 38.5 | 250.3 | −26.2 | 0 |
| 200 | 246.5 | −32.8 | 249.4 | −24.1 | 264.1 | 38.4 | 253.3 | −26.5 | 200 |
| 400 | 249.7 | −33.2 | 252.4 | −24.5 | 265.8 | 38.3 | 256.4 | −26.8 | 400 |
| 600 | 252.9 | −33.6 | 255.5 | −24.8 | 267.4 | 38.2 | 259.5 | −27.0 | 600 |
| 800 | 256.2 | −33.9 | 258.5 | −25.1 | 269.1 | 38.2 | 262.6 | −27.2 | 800 |
| 1000 | 259.5 | −34.1 | 261.6 | −25.3 | 270.8 | 38.2 | 265.8 | −27.3 | 1000 |
| 1200 | 262.8 | −34.3 | 264.7 | −25.4 | 272.5 | 38.3 | 268.9 | −27.4 | 1200 |
| 1400 | 266.1 | −34.4 | 267.7 | −25.5 | 274.2 | 38.3 | 272.0 | −27.4 | 1400 |
| 1600 | 269.4 | −34.5 | 270.8 | −25.6 | 275.9 | 38.5 | 275.2 | −27.3 | 1600 |
| 1800 | 272.7 | −34.5 | 273.9 | −25.5 | 277.5 | 38.6 | 278.3 | −27.2 | 1800 |
| 2000 | 276.0 | −34.4 | 277.0 | −25.4 | 279.2 | 38.8 | 281.4 | −27.0 | 2000 |







| 历元 | 193 BS7121 | | 194 BS7150 | | 195 BS7194 | | 196 BS7217 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 223.5 | −20.0 | 226.1 | −15.4 | 223.6 | −24.0 | 227.4 | −16.6 | −2000 |
| −1800 | 226.3 | −20.8 | 228.9 | −16.2 | 226.5 | −24.8 | 230.2 | −17.3 | −1800 |
| −1600 | 229.2 | −21.5 | 231.6 | −16.9 | 229.4 | −25.5 | 233.0 | −18.0 | −1600 |
| −1400 | 232.0 | −22.3 | 234.4 | −17.6 | 232.3 | −26.2 | 235.8 | −18.7 | −1400 |
| −1200 | 234.9 | −22.9 | 237.2 | −18.2 | 235.3 | −26.9 | 238.6 | −19.3 | −1200 |
| −1000 | 237.8 | −23.6 | 240.1 | −18.8 | 238.3 | −27.5 | 241.5 | −19.9 | −1000 |
| −800 | 240.8 | −24.1 | 242.9 | −19.4 | 241.3 | −28.1 | 244.4 | −20.4 | −800 |
| −600 | 243.7 | −24.7 | 245.8 | −19.9 | 244.4 | −28.6 | 247.3 | −20.8 | −600 |
| −400 | 246.7 | −25.2 | 248.7 | −20.3 | 247.5 | −29.1 | 250.2 | −21.3 | −400 |
| −200 | 249.8 | −25.6 | 251.6 | −20.7 | 250.6 | −29.5 | 253.2 | −21.6 | −200 |
| 0 | 252.8 | −25.9 | 254.6 | −21.0 | 253.7 | −29.8 | 256.1 | −21.9 | 0 |
| 200 | 255.9 | −26.2 | 257.5 | −21.3 | 256.9 | −30.1 | 259.1 | −22.2 | 200 |
| 400 | 259.0 | −26.5 | 260.5 | −21.5 | 260.1 | −30.3 | 262.1 | −22.3 | 400 |
| 600 | 262.0 | −26.7 | 263.5 | −21.6 | 263.2 | −30.5 | 265.1 | −22.5 | 600 |
| 800 | 265.1 | −26.8 | 266.5 | −21.7 | 266.4 | −30.6 | 268.1 | −22.5 | 800 |
| 1000 | 268.3 | −26.9 | 269.5 | −21.8 | 269.6 | −30.6 | 271.1 | −22.6 | 1000 |
| 1200 | 271.4 | −26.9 | 272.5 | −21.8 | 272.9 | −30.6 | 274.1 | −22.5 | 1200 |
| 1400 | 274.5 | −26.8 | 275.5 | −21.7 | 276.1 | −30.5 | 277.2 | −22.4 | 1400 |
| 1600 | 277.6 | −26.7 | 278.5 | −21.6 | 279.3 | −30.4 | 280.2 | −22.2 | 1600 |
| 1800 | 280.7 | −26.5 | 281.4 | −21.4 | 282.5 | −30.2 | 283.2 | −22.0 | 1800 |
| 2000 | 283.8 | −26.3 | 284.4 | −21.1 | 285.6 | −29.9 | 286.2 | −21.7 | 2000 |

| 历元 | 197 BS7234 | | 198 BS7235 | | 199 BS7264 | | 200 BS7340 | | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 225.7 | −22.1 | 241.0 | 16.4 | 228.9 | −16.4 | 232.8 | −14.6 | −2000 |
| −1800 | 228.5 | −22.9 | 243.2 | 15.9 | 231.7 | −17.1 | 235.6 | −15.3 | −1800 |
| −1600 | 231.4 | −23.6 | 245.5 | 15.4 | 234.4 | −17.8 | 238.4 | −15.9 | −1600 |
| −1400 | 234.3 | −24.3 | 247.7 | 15.0 | 237.3 | −18.4 | 241.2 | −16.5 | −1400 |
| −1200 | 237.2 | −24.9 | 249.9 | 14.6 | 240.1 | −19.0 | 244.0 | −17.0 | −1200 |
| −1000 | 240.2 | −25.5 | 252.2 | 14.2 | 243.0 | −19.6 | 246.8 | −17.4 | −1000 |
| −800 | 243.2 | −26.1 | 254.4 | 13.9 | 245.8 | −20.1 | 249.6 | −17.9 | −800 |
| −600 | 246.2 | −26.6 | 256.7 | 13.6 | 248.8 | −20.5 | 252.5 | −18.2 | −600 |
| −400 | 249.2 | −27.0 | 258.9 | 13.3 | 251.7 | −20.9 | 255.4 | −18.5 | −400 |
| −200 | 252.3 | −27.4 | 261.2 | 13.1 | 254.6 | −21.2 | 258.3 | −18.8 | −200 |
| 0 | 255.4 | −27.7 | 263.5 | 13.0 | 257.6 | −21.5 | 261.2 | −19.0 | 0 |
| 200 | 258.5 | −28.0 | 265.7 | 12.9 | 260.5 | −21.7 | 264.1 | −19.1 | 200 |
| 400 | 261.6 | −28.2 | 268.0 | 12.8 | 263.5 | −21.9 | 267.0 | −19.2 | 400 |
| 600 | 264.7 | −28.4 | 270.3 | 12.8 | 266.5 | −22.0 | 270.0 | −19.2 | 600 |
| 800 | 267.9 | −28.4 | 272.6 | 12.8 | 269.5 | −22.0 | 272.9 | −19.2 | 800 |
| 1000 | 271.0 | −28.5 | 274.9 | 12.9 | 272.5 | −22.0 | 275.8 | −19.1 | 1000 |
| 1200 | 274.2 | −28.4 | 277.2 | 13.0 | 275.5 | −21.9 | 278.8 | −19.0 | 1200 |
| 1400 | 277.3 | −28.3 | 279.5 | 13.1 | 278.5 | −21.8 | 281.7 | −18.8 | 1400 |
| 1600 | 280.5 | −28.2 | 281.8 | 13.3 | 281.5 | −21.6 | 284.6 | −18.5 | 1600 |
| 1800 | 283.6 | −27.9 | 284.1 | 13.6 | 284.5 | −21.3 | 287.5 | −18.2 | 1800 |
| 2000 | 286.7 | −27.7 | 286.3 | 13.9 | 287.4 | −21.0 | 290.4 | −17.9 | 2000 |




| 历元 | 201 | BS7525 | 202 | BS7528 | 203 | BS7557 | 204 | BS7776 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 249.2 | 9.6 | 265.2 | 41.0 | 248.9 | 7.4 | 247.7 | −17.2 | −2000 |
| −1800 | 251.5 | 9.2 | 266.7 | 40.9 | 251.3 | 7.0 | 250.5 | −17.6 | −1800 |
| −1600 | 253.8 | 8.9 | 268.3 | 40.9 | 253.7 | 6.7 | 253.4 | −17.9 | −1600 |
| −1400 | 256.2 | 8.6 | 269.8 | 40.9 | 256.1 | 6.4 | 256.2 | −18.2 | −1400 |
| −1200 | 258.5 | 8.3 | 271.3 | 40.9 | 258.6 | 6.1 | 259.1 | −18.5 | −1200 |
| −1000 | 260.9 | 8.1 | 272.9 | 40.9 | 261.0 | 5.9 | 262.0 | −18.7 | −1000 |
| −800 | 263.3 | 8.0 | 274.4 | 41.0 | 263.4 | 5.8 | 264.9 | −18.8 | −800 |
| −600 | 265.6 | 7.9 | 276.0 | 41.1 | 265.9 | 5.7 | 267.8 | −18.9 | −600 |
| −400 | 268.0 | 7.8 | 277.5 | 41.2 | 268.3 | 5.7 | 270.7 | −18.9 | −400 |
| −200 | 270.4 | 7.8 | 279.1 | 41.4 | 270.8 | 5.7 | 273.6 | −18.8 | −200 |
| 0 | 272.7 | 7.8 | 280.6 | 41.6 | 273.2 | 5.7 | 276.5 | −18.7 | 0 |
| 200 | 275.1 | 7.9 | 282.2 | 41.8 | 275.7 | 5.8 | 279.5 | −18.6 | 200 |
| 400 | 277.5 | 8.0 | 283.8 | 42.1 | 278.1 | 6.0 | 282.4 | −18.4 | 400 |
| 600 | 279.9 | 8.2 | 285.3 | 42.3 | 280.6 | 6.2 | 285.3 | −18.1 | 600 |
| 800 | 282.3 | 8.4 | 286.9 | 42.7 | 283.0 | 6.4 | 288.2 | −17.8 | 800 |
| 1000 | 284.7 | 8.6 | 288.4 | 43.0 | 285.5 | 6.7 | 291.0 | −17.4 | 1000 |
| 1200 | 287.0 | 9.0 | 290.0 | 43.4 | 287.9 | 7.1 | 293.9 | −17.0 | 1200 |
| 1400 | 289.4 | 9.3 | 291.6 | 43.8 | 290.4 | 7.4 | 296.8 | −16.5 | 1400 |
| 1600 | 291.8 | 9.7 | 293.1 | 44.2 | 292.8 | 7.9 | 299.6 | −16.0 | 1600 |
| 1800 | 294.2 | 10.1 | 294.7 | 44.6 | 295.3 | 8.4 | 302.4 | −15.4 | 1800 |
| 2000 | 296.6 | 10.6 | 296.2 | 45.1 | 297.7 | 8.9 | 305.3 | −14.8 | 2000 |

| 历元 | 205 | BS7790 | 206 | BS7796 | 207 | BS7822 | 208 | BS7924 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 222.8 | −54.4 | 270.1 | 33.5 | 248.3 | −20.7 | 276.6 | 36.5 | −2000 |
| −1800 | 226.4 | −55.2 | 271.8 | 33.6 | 251.3 | −21.1 | 278.3 | 36.6 | −1800 |
| −1600 | 230.2 | −56.0 | 273.6 | 33.6 | 254.2 | −21.4 | 280.0 | 36.8 | −1600 |
| −1400 | 234.0 | −56.7 | 275.3 | 33.7 | 257.1 | −21.7 | 281.7 | 37.0 | −1400 |
| −1200 | 238.0 | −57.3 | 277.1 | 33.8 | 260.1 | −21.9 | 283.3 | 37.3 | −1200 |
| −1000 | 242.0 | −57.9 | 278.9 | 34.0 | 263.0 | −22.1 | 285.0 | 37.5 | −1000 |
| −800 | 246.2 | −58.4 | 280.6 | 34.2 | 266.0 | −22.2 | 286.7 | 37.9 | −800 |
| −600 | 250.4 | −58.8 | 282.4 | 34.4 | 269.0 | −22.3 | 288.4 | 38.2 | −600 |
| −400 | 254.7 | −59.2 | 284.2 | 34.7 | 272.0 | −22.3 | 290.1 | 38.6 | −400 |
| −200 | 259.1 | −59.4 | 285.9 | 34.9 | 275.0 | −22.2 | 291.7 | 39.0 | −200 |
| 0 | 263.5 | −59.6 | 287.7 | 35.3 | 277.9 | −22.1 | 293.4 | 39.4 | 0 |
| 200 | 267.9 | −59.7 | 289.5 | 35.6 | 280.9 | −21.9 | 295.1 | 39.9 | 200 |
| 400 | 272.4 | −59.7 | 291.3 | 36.0 | 283.9 | −21.6 | 296.8 | 40.3 | 400 |
| 600 | 276.8 | −59.6 | 293.1 | 36.4 | 286.9 | −21.3 | 298.5 | 40.9 | 600 |
| 800 | 281.2 | −59.4 | 294.8 | 36.9 | 289.8 | −21.0 | 300.2 | 41.4 | 800 |
| 1000 | 285.6 | −59.2 | 296.6 | 37.4 | 292.8 | −20.6 | 301.9 | 42.0 | 1000 |
| 1200 | 289.9 | −58.8 | 298.4 | 37.9 | 295.7 | −20.1 | 303.6 | 42.6 | 1200 |
| 1400 | 294.2 | −58.4 | 300.2 | 38.4 | 298.6 | −19.6 | 305.3 | 43.2 | 1400 |
| 1600 | 298.4 | −57.9 | 302.0 | 39.0 | 301.5 | −19.1 | 307.0 | 43.9 | 1600 |
| 1800 | 302.4 | −57.4 | 303.8 | 39.6 | 304.4 | −18.5 | 308.7 | 44.6 | 1800 |
| 2000 | 306.4 | −56.7 | 305.6 | 40.3 | 307.2 | −17.8 | 310.4 | 45.3 | 2000 |

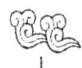






| 历元 | 209 | BS7949 | 210 | BS7950 | 211 | BS8162 | 212 | BS8232 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 271.6 | 25.6 | 256.0 | −14.7 | 294.4 | 49.1 | 268.0 | −14.9 | −2000 |
| −1800 | 273.5 | 25.7 | 258.8 | −15.0 | 295.7 | 49.6 | 270.8 | −14.9 | −1800 |
| −1600 | 275.5 | 25.8 | 261.6 | −15.1 | 297.0 | 50.1 | 273.6 | −14.9 | −1600 |
| −1400 | 277.5 | 25.9 | 264.5 | −15.3 | 298.3 | 50.6 | 276.4 | −14.8 | −1400 |
| −1200 | 279.5 | 26.1 | 267.3 | −15.4 | 299.6 | 51.1 | 279.2 | −14.6 | −1200 |
| −1000 | 281.5 | 26.3 | 270.1 | −15.4 | 300.9 | 51.7 | 282.0 | −14.4 | −1000 |
| −800 | 283.5 | 26.6 | 272.9 | −15.4 | 302.2 | 52.3 | 284.8 | −14.2 | −800 |
| −600 | 285.5 | 26.9 | 275.8 | −15.3 | 303.5 | 52.9 | 287.6 | −13.9 | −600 |
| −400 | 287.5 | 27.2 | 278.6 | −15.1 | 304.8 | 53.6 | 290.4 | −13.5 | −400 |
| −200 | 289.5 | 27.6 | 281.4 | −15.0 | 306.1 | 54.2 | 293.2 | −13.1 | −200 |
| 0 | 291.5 | 28.0 | 284.2 | −14.7 | 307.3 | 54.9 | 296.0 | −12.6 | 0 |
| 200 | 293.5 | 28.4 | 287.1 | −14.4 | 308.6 | 55.6 | 298.7 | −12.1 | 200 |
| 400 | 295.5 | 28.9 | 289.9 | −14.1 | 309.9 | 56.3 | 301.4 | −11.5 | 400 |
| 600 | 297.5 | 29.4 | 292.7 | −13.6 | 311.1 | 57.0 | 304.2 | −10.9 | 600 |
| 800 | 299.5 | 30.0 | 295.5 | −13.2 | 312.4 | 57.8 | 306.9 | −10.3 | 800 |
| 1000 | 301.5 | 30.6 | 298.2 | −12.7 | 313.6 | 58.5 | 309.6 | −9.6 | 1000 |
| 1200 | 303.5 | 31.2 | 301.0 | −12.1 | 314.8 | 59.3 | 312.3 | −8.9 | 1200 |
| 1400 | 305.5 | 31.8 | 303.7 | −11.5 | 316.0 | 60.1 | 314.9 | −8.1 | 1400 |
| 1600 | 307.5 | 32.5 | 306.5 | −10.9 | 317.3 | 60.9 | 317.6 | −7.3 | 1600 |
| 1800 | 309.5 | 33.2 | 309.2 | −10.2 | 318.5 | 61.7 | 320.3 | −6.4 | 1800 |
| 2000 | 311.6 | 34.0 | 311.9 | −9.5 | 319.6 | 62.6 | 322.9 | −5.6 | 2000 |

| 历元 | 213 | BS8278 | 214 | BS8308 | 215 | BS8322 | 216 | BS8414 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 265.8 | −26.0 | 276.1 | −1.4 | 267.8 | −25.8 | 278.1 | −12.7 | −2000 |
| −1800 | 268.8 | −26.0 | 278.7 | −1.2 | 270.8 | −25.8 | 280.8 | −12.6 | −1800 |
| −1600 | 271.9 | −26.0 | 281.2 | −1.0 | 273.9 | −25.8 | 283.6 | −12.3 | −1600 |
| −1400 | 275.0 | −26.0 | 283.7 | −0.8 | 276.9 | −25.7 | 286.3 | −12.0 | −1400 |
| −1200 | 278.0 | −25.8 | 286.3 | −0.5 | 280.0 | −25.5 | 289.1 | −11.7 | −1200 |
| −1000 | 281.1 | −25.7 | 288.8 | −0.2 | 283.0 | −25.3 | 291.8 | −11.3 | −1000 |
| −800 | 284.2 | −25.4 | 291.3 | 0.2 | 286.1 | −25.1 | 294.5 | −10.9 | −800 |
| −600 | 287.2 | −25.1 | 293.8 | 0.7 | 289.1 | −24.7 | 297.2 | −10.4 | −600 |
| −400 | 290.2 | −24.8 | 296.3 | 1.1 | 292.1 | −24.4 | 299.9 | −9.8 | −400 |
| −200 | 293.2 | −24.3 | 298.8 | 1.6 | 295.1 | −23.9 | 302.6 | −9.2 | −200 |
| 0 | 296.2 | −23.9 | 301.3 | 2.2 | 298.1 | −23.4 | 305.3 | −8.6 | 0 |
| 200 | 299.2 | −23.4 | 303.8 | 2.8 | 301.1 | −22.9 | 308.0 | −7.9 | 200 |
| 400 | 302.2 | −22.8 | 306.3 | 3.5 | 304.0 | −22.3 | 310.6 | −7.2 | 400 |
| 600 | 305.1 | −22.2 | 308.8 | 4.1 | 306.9 | −21.7 | 313.3 | −6.5 | 600 |
| 800 | 308.0 | −21.5 | 311.3 | 4.9 | 309.8 | −21.0 | 315.9 | −5.7 | 800 |
| 1000 | 310.9 | −20.8 | 313.7 | 5.6 | 312.7 | −20.3 | 318.5 | −4.9 | 1000 |
| 1200 | 313.8 | −20.0 | 316.2 | 6.4 | 315.6 | −19.5 | 321.1 | −4.0 | 1200 |
| 1400 | 316.6 | −19.2 | 318.7 | 7.2 | 318.4 | −18.7 | 323.7 | −3.1 | 1400 |
| 1600 | 319.4 | −18.4 | 321.1 | 8.1 | 321.2 | −17.9 | 326.3 | −2.2 | 1600 |
| 1800 | 322.2 | −17.6 | 323.6 | 9.0 | 324.0 | −17.0 | 328.9 | −1.3 | 1800 |
| 2000 | 325.0 | −16.7 | 326.1 | 9.9 | 326.8 | −16.1 | 331.5 | −0.3 | 2000 |

| 历元 | 217 | BS8425 | 218 | BS8502 | 219 | BS8636 | 220 | BS8650 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 255.3 | −55.7 | 239.9 | −67.2 | 264.5 | −58.9 | 295.5 | 14.0 | −2000 |
| −1800 | 259.4 | −56.0 | 244.8 | −67.7 | 268.9 | −58.9 | 297.7 | 14.5 | −1800 |
| −1600 | 263.6 | −56.2 | 249.9 | −68.1 | 273.3 | −58.9 | 300.0 | 15.1 | −1600 |
| −1400 | 267.8 | −56.3 | 255.1 | −68.5 | 277.7 | −58.8 | 302.2 | 15.6 | −1400 |
| −1200 | 272.0 | −56.3 | 260.4 | −68.7 | 282.0 | −58.6 | 304.4 | 16.3 | −1200 |
| −1000 | 276.2 | −56.2 | 265.8 | −68.9 | 286.3 | −58.3 | 306.7 | 16.9 | −1000 |
| −800 | 280.4 | −56.1 | 271.2 | −68.9 | 290.6 | −58.0 | 308.9 | 17.6 | −800 |
| −600 | 284.5 | −55.8 | 276.6 | −68.8 | 294.8 | −57.6 | 311.2 | 18.3 | −600 |
| −400 | 288.6 | −55.5 | 282.0 | −68.6 | 298.9 | −57.1 | 313.4 | 19.1 | −400 |
| −200 | 292.7 | −55.1 | 287.3 | −68.3 | 302.9 | −56.5 | 315.7 | 19.9 | −200 |
| 0 | 296.7 | −54.7 | 292.4 | −68.0 | 306.8 | −55.8 | 317.9 | 20.7 | 0 |
| 200 | 300.6 | −54.1 | 297.4 | −67.5 | 310.6 | −55.1 | 320.1 | 21.5 | 200 |
| 400 | 304.4 | −53.5 | 302.3 | −66.9 | 314.3 | −54.4 | 322.4 | 22.4 | 400 |
| 600 | 308.2 | −52.9 | 307.0 | −66.3 | 317.9 | −53.6 | 324.7 | 23.3 | 600 |
| 800 | 311.8 | −52.2 | 311.4 | −65.6 | 321.5 | −52.7 | 326.9 | 24.2 | 800 |
| 1000 | 315.4 | −51.4 | 315.7 | −64.8 | 324.9 | −51.8 | 329.2 | 25.2 | 1000 |
| 1200 | 318.9 | −50.6 | 319.9 | −64.0 | 328.2 | −50.9 | 331.5 | 26.2 | 1200 |
| 1400 | 322.3 | −49.7 | 323.8 | −63.1 | 331.4 | −49.9 | 333.8 | 27.1 | 1400 |
| 1600 | 325.7 | −48.9 | 327.6 | −62.2 | 334.6 | −48.9 | 336.1 | 28.2 | 1600 |
| 1800 | 328.9 | −47.9 | 331.2 | −61.2 | 337.7 | −47.9 | 338.4 | 29.2 | 1800 |
| 2000 | 332.1 | −47.0 | 334.6 | −60.3 | 340.7 | −46.9 | 340.8 | 30.2 | 2000 |

| 历元 | 221 | BS8698 | 222 | BS8728 | 223 | BS8775 | 224 | BS8781 | 历元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −2000 | 287.6 | −23.1 | 280.5 | −44.2 | 299.2 | 10.7 | 296.5 | −1.7 | −2000 |
| −1800 | 290.6 | −22.8 | 284.1 | −44.0 | 301.5 | 11.2 | 299.0 | −1.2 | −1800 |
| −1600 | 293.5 | −22.3 | 287.7 | −43.7 | 303.8 | 11.8 | 301.5 | −0.6 | −1600 |
| −1400 | 296.4 | −21.9 | 291.2 | −43.3 | 306.1 | 12.5 | 304.1 | −0.0 | −1400 |
| −1200 | 299.3 | −21.3 | 294.7 | −42.9 | 308.5 | 13.2 | 306.6 | 0.6 | −1200 |
| −1000 | 302.2 | −20.8 | 298.2 | −42.4 | 310.8 | 13.9 | 309.1 | 1.3 | −1000 |
| −800 | 305.1 | −20.1 | 301.6 | −41.8 | 313.1 | 14.7 | 311.6 | 2.0 | −800 |
| −600 | 308.0 | −19.5 | 305.0 | −41.2 | 315.4 | 15.5 | 314.1 | 2.8 | −600 |
| −400 | 310.8 | −18.7 | 308.3 | −40.6 | 317.7 | 16.3 | 316.5 | 3.6 | −400 |
| −200 | 313.6 | −18.0 | 311.6 | −39.9 | 320.0 | 17.1 | 319.0 | 4.4 | −200 |
| 0 | 316.4 | −17.2 | 314.8 | −39.1 | 322.4 | 18.0 | 321.5 | 5.3 | 0 |
| 200 | 319.1 | −16.4 | 318.0 | −38.3 | 324.7 | 18.9 | 324.0 | 6.2 | 200 |
| 400 | 321.9 | −15.5 | 321.1 | −37.5 | 327.0 | 19.9 | 326.4 | 7.1 | 400 |
| 600 | 324.6 | −14.6 | 324.2 | −36.6 | 329.3 | 20.8 | 328.9 | 8.0 | 600 |
| 800 | 327.3 | −13.7 | 327.2 | −35.7 | 331.7 | 21.8 | 331.4 | 9.0 | 800 |
| 1000 | 330.0 | −12.7 | 330.2 | −34.7 | 334.0 | 22.8 | 333.8 | 10.0 | 1000 |
| 1200 | 332.6 | −11.7 | 333.1 | −33.7 | 336.4 | 23.8 | 336.3 | 11.0 | 1200 |
| 1400 | 335.3 | −10.7 | 336.0 | −32.7 | 338.7 | 24.9 | 338.7 | 12.0 | 1400 |
| 1600 | 337.9 | −9.7 | 338.8 | −31.7 | 341.1 | 25.9 | 341.2 | 13.1 | 1600 |
| 1800 | 340.5 | −8.6 | 341.6 | −30.7 | 343.5 | 27.0 | 343.7 | 14.1 | 1800 |
| 2000 | 343.2 | −7.6 | 344.4 | −29.6 | 345.9 | 28.1 | 346.2 | 15.2 | 2000 |





# 下 篇

## 中国古代天文仪器



# 第十章　中国古代天文仪器概述

## 第一节　天文仪器的概念和功用

中国古代天文学发达很早，天象记录十分丰富。准确的天象记录，是通过不断创新的天文仪器进行观测所取得的。

天文仪器是人类感觉器官的延长，亦是研究日、月、星辰运行规律的重要工具和手段。我国古代历法经历多次改革，在编历过程中，逐步推演出新的计算程序，并且致力于新天文仪器的研制。可以这样认为：天文仪器的研制，是天文学发展的基础。每当新的天文仪器出现，必然会取得更佳的观测结果，因而在其后来，更为精致的历法，亦随之产生。

从发展的规律来看，举凡日、月、星辰坐标系统的建立、位置的测定；日、月、年长度的度量，天体的方位、出没、中天的时间；季节时令的测定、天象的发生，以及严密的时间体系的建立等等，无一不依赖于天文仪器的衡量来体现和预示。

我国古代天文仪器，大致可分为四类：测角类，如表、圆仪、浑仪、简仪、仰仪、正方案等；测时间类，如圭表、晷仪、日晷等；守时类，如漏壶、更香、秤漏等；演示类，如浑象、假天等。还有综合类的，即集测时、守时、报时等性能于一体的，如东汉张衡的漏水转浑天仪、唐开元水运浑天和北宋苏颂的水运仪象台等。




中国古代的天文仪器，随着时代的发展，以制作精美、构思巧妙、用途广泛见长。无论是圭表、日晷、仪象、漏刻，或与之相关的星表等，都各有特色，有的至今仍为国际上所称道。英国著名的学者李约瑟在《中国科学技术史》①一书中称："中国人完成了一种有天极的赤道坐标系，并把赤道坐标用于星表，坚持使用 2 000 年之久。中国人制成的天文仪器一件比一件复杂，以 13 世纪发明的一种赤道装置（类似改造的黄赤道转换仪或拆开的浑仪）为最高峰。中国人发明了望远镜的前身——带窥管的转仪钟和一系列巧妙的天文仪器辅助机件。"

这种评论无疑是符合实际的，亦是很公允的！

我国古代天文仪器的发展，经历了萌芽、奠基、繁荣、衰落各阶段。同时，还融

① J. Needham：《Science & Civilisation in China》，Vol. Ⅲ，Cambridge University Press。

进了中西交流的特殊历史演绎发展道路，这是中国古代天文学发展上的一个转折点！

## 第二节 仪器的萌芽和起源(先秦)

我国古代天文仪器中，表可算为最古老。表亦称为槷或臬、竿、髀、碑、椑等，可用以定方向、节气、时刻、地域，《诗·大雅·公刘》篇和《考工记·玉人》篇已有记载。据考证大约在公元前15世纪末，周人已能立表定向。这当然是下限年代，实践时期或可推至更早。

圭，与表并称。圭是用来量度太阳照射"表"时所投影子长短的尺子。两者结合，称为圭表。圭沿南北方向安置，表则立于其南端。其结合成整体始于何时，尚待考证。从史书记载来看，表先于圭，甲骨文中未见圭字。而详细记录用圭表测量的书是《周礼》、《周髀算经》、《淮南子》等。《周礼》成书于战国，其中《考工记》相传为春秋末齐人所作。《周髀算经》成书于公元前1世纪，而《淮南子》则成书于西汉。因而一般认为"圭"出现于春秋战国时期。所以，土圭或土圭之法，应是从表发展到圭表的一个过渡。但是，甲骨文中有"至日"，说明商人已能大体定出冬至日，至于四方和一日内的不同时刻的命名，商代亦确有记载。然而，这单用表，不借助于圭，亦可独立完成。于是，"圭表"的出现，以精确测量一年中各节气中午太阳影长，这是制定历法所必需的。其上限年代，似乎可大致推测了。

至于漏刻仪器，先秦时代，已大体具备。漏，是漏水的壶，利用水的漏出，以计算时间，是守时仪器。刻，是带有刻度的标尺，与漏壶配合，随壶水的流漏反映不同时刻，属报时仪器。史书记载：漏刻之作，盖肇于轩辕之日，宣乎夏商之代。漏的出现当早于刻，在先秦典籍中早已见到有关漏的记述。可以认为：漏壶起源于公元前三四千年，发展于夏商时代。大约在商代发明刻箭，而在春秋战国时代施用41根箭来计量一年中不同时期的昼、夜漏刻。





先秦时代，浑仪是否已经产生呢？可以认为：在浑天说建立之后，就存在产生浑仪的基础。我国天文史学者陈遵妫先生曾对《石氏星经》、《周髀算经》中的天体坐标度数和1973年马王堆出土的《五星占》中木、金、土三星行度进行分析研究后指出："浑仪的创制年代，上限应在公元前4世纪前后，下限不晚于公元前1世纪。"[①]另一位天文史学者刘金沂先生，亦依据大致相同的文献，加以论证之后认为："在秦汉之前，已经存在测量角度的仪器，亦可能已存在浑仪这样的测角仪器。"

---

① 陈遵妫：《中国天文学史》，第四册，1989年，第1762页。



《后汉书·律历志》中曾提到圆仪的仪器，可能是一种平面测角工具，而决定天体位置则需两个坐标，将平面测角工具分别使用两次。由平面立起即可成为立体测角工具。所谓立圆为浑，或许浑仪的出现曾经历了从圆到浑的发展过程。因而他认为："战国至秦，或许是浑仪的诞生时期。"①这种见解，不无见地。这两位学者的论证，可互相参照。

## 第三节　传统仪器的奠基（两汉）

公元前 207 年，汉朝建立。汉朝在历法、仪象、观测、理论以及天文著述等方面，都取得显著成就。

汉代在天文仪器的制造和使用上出现了飞跃。圭表方面，史载："汉文帝后元三年（前 161），以庚辰岁冬至为历元，立仪表以测日景长短。《后汉书·律历志》列有二十四节气晷景短长。""太初元年（前 104），立晷仪②，下刻漏测二十八宿以定四方。"《玉海》卷五《天文·圭景》篇引《三辅黄图》记述："长安灵台有铜表，高八尺，长一丈三尺，广一尺二寸。题云：太初四年造。"

仪象方面，据《史记索隐》注引《益部耆旧传》汉武帝元封七年（前 104），民间天文学家落下闳于"地中（洛阳）转浑天，改颛顼历作太初历"，鲜于妄人用它进行测量。汉宣帝甘露二年（前 52），耿寿昌亦铸铜为象，制造了浑象。耿寿昌用它观象，发现日、月每天移行的赤道度数并不均匀。后来才清楚这是因为太阳沿黄道运行，月亮则沿白道运行，白道和黄道交角小，可以认为差不多，而两者都与赤道差得很多。东汉时代民间天文学家傅安首先在赤道浑仪上添加黄道环，便于测量日、月、五星行度。后来，贾逵又在傅安创造黄道环基础上，改进为太史黄道铜仪，于和帝永元十五年（103）制成。顺帝阳嘉元年（132）张衡创制水运浑天仪。这仪器是最早利用二级漏壶的水来控制的一种天文仪象，对后世利用水力转动的计时仪器有很大启发。





漏刻方面，整个汉代，以施用每日百刻制为主，而且分别昼夜漏。汉武帝时，以冬至昼间为 45 刻，夏至昼间为 65 刻。二至之间约 180 多天，因而建立约 9 日增减 1 刻制度，称为"常符漏品"。由于太阳运动逐日有变化，因而逐日漏刻也不同，相差可达二三刻，东汉永元年间，太史霍融和太史令舒承梵改正漏刻制度，从永元十四年（102）起，太阳去极每隔 2 度 4 分，漏刻增减 1 刻。这是一个进步。

至此，浑仪、浑象、水运浑天仪和漏刻先后出现，再加上原有的圭表，基本上形

---

① 刘金沂，赵澄秋：《中国古代天文学史略》，1990 年，第 55 页。

② 秦汉日晷只用以测定方位，没有进而测定时间，因而有人称为晷仪。

成了中国传统天文仪器系统，为天文学的定量化提供了根本的保证。

## 第四节　仪器的发展时期(魏晋至隋唐)

从东汉封建王朝的统治结束，到公元960年北宋王朝建立，其间共700多年。我国历史在这个时期交替出现统一和分裂的局面：先是魏、蜀、吴三国鼎立，后来统一于晋王朝。南北双方互相对立的南北朝时期又代替了晋王朝的统治，使我国再一次出现分裂的局面。隋和唐300多年是这个时期中较长的一段统一时间。以后又出现了五代十国分争的状况。最后统一于北宋。

同其他科学技术一样，天文学的发展亦是以社会的经济发展为基础的。这一时期农业灌溉、采矿冶金、桥梁建筑、数学等科学技术都有较大进步。经济渐趋繁荣，终于出现盛唐局势。天文仪器的研制，天文测地工作更直接是由生产的发展所决定的。因而在这一时期，亦不断前进。

圭表方面，南北朝祖冲之的儿子，曾于梁武帝天监年间，在河南嵩山顶上立八尺铜表，下与附有水槽石圭相接，用以取水平并测正午日影。为了确定南北方位，他立一表叫“南表”，正午在南表的日影之末再立一表，称为“中表”。只要时间准确，两表即指示南北方向。夜间，又通过中表望北极星，于中表之北再立一“北表”。使中表和北表上的相应点与北极星正在一直线上。第二天中午，再根据三个表的日影是否投在一直线上，来判断中表和北表的方向是否正好指向南北。经过多次观测，他发现北极星并不在正北方，与北天极相差1度有余，这是打破北极星即天北极错误观点的重要发现。此法亦颇为巧妙。





仪象方面，张衡之后有三国时代吴国的陆绩和王蕃制造过浑象。陆绩造的浑象状如鸟卵。王蕃的浑象，与张衡的“水运浑天仪”相差不多，只是大小减了1/4，至于有无水运的机械传动装置，史无明文。史书有明文记载继承张衡机械转动浑象传统的有吴国的葛衡，和刘宋元嘉十三年(436)太史令钱乐之铸造铜浑天仪。元嘉十七年又做小浑象，用朱、黑、白三种颜色来区别巫咸、甘德、石申三家的星。梁代的陶宏景亦曾造浑天象，史书记载，高只有三尺许。

至于浑仪，到张衡时为止，古代浑仪的详细结构，没有留下史料。有明确记载的是《隋书·天文志》关于东晋时期，匈奴族统治的前赵史官丞南阳孔挺于光初六年(323)所制造的浑天铜仪，它只含相当于四游仪和六合仪的部分，而没有三辰仪部分，亦没有黄道环。

北魏天兴五年(402)，晁崇制造浑仪；史书又载后魏永光四年(412)，太史丞斛兰造了一架“太史候部铁仪”的浑仪。仪器的东、南、西、北四柱安于十字底座上，底



座上开有十字沟，沟内注水可调水平，这台浑仪使用了200余年。

隋唐时期，生产繁荣旺盛，国力充沛，贞观七年(633)李淳风制成浑天黄道仪。它是继东汉太史黄道铜仪之后第一架装有黄道圈的仪器，而且首次解决了黄道瞄准的问题；还第一次装上白道环，其设计开创了后来僧一行研制的“黄道游仪”黄道圈位置转换装置的先河。从李淳风开始，中国传统浑仪的三重环圈结构(即六合仪、三辰仪、四游仪)已基本固定下来，成为后代浑仪的模式。

开元十二年(724)，僧一行和梁令瓒制造了一架黄道游仪，先做木模，后用铜铸造，和李淳风浑仪基本相同，其不同点有三：一是取消了六合仪中的赤道环，安了一个卯酉环；二是在相当于三辰仪中的赤道环上，每隔1度打一洞，使黄道环能沿赤道环退行①，用以表示岁差现象；三是黄道环上不是打249对孔，而是1度打一孔。随后，于开元十三年底，梁令瓒又造水运浑天俯视仪，用水激轮，每昼夜自转一周，一半在木柜内，表示在地平下。另立两木人，每刻击鼓，每辰敲钟，机械精巧，装在柜内，已粗具近代自鸣钟的规模。

开元十三年间，僧一行还创造覆矩仪，用以测量各地北极星高度。

漏刻方面，史载：东晋咸和七年(332)，在宫殿里设立一个漏壶；东晋太元十二年(387)，又建一个重要漏壶。公元4世纪中，孙绰作漏刻铭称：“累筒三阶，积水成‘渊’，可能即指此事；为三级漏壶。”

北魏道士李兰，曾创造秤漏，简易灵敏，在隋唐时代，风行一时。

南北朝刘宋元嘉二十年(443)，何承天造漏法，春、秋分昏、旦昼夜漏各55刻。梁天监六年(507)，才把100刻分配到十二辰；梁大同十年(544)改为108刻；陈天嘉年间(560—566)，又恢复古漏100刻制度。

隋开皇十四年(594)，袁充造晷影漏刻。大业初，耿询、宇文恺作古欹器，用漏水注之，这是耿询和宇文恺根据后魏道士李兰的设计，制造的一种测定时刻的仪器。





唐代的漏壶，称吕才漏壶，分为四级，叫作夜天池、日天池、平壶和万分壶，受水器称水海。水从夜天池递传而入水海，水海中立有铜人，拿着浮箭，箭上有刻分。

唐代的计时仪器，还有“辊弹漏”和“盂漏”。五代时期，战乱频仍，天文仪象制造不多。史载：后晋天福三年(938)，曾造悬壶，用火来熏，寒天也可使用。惜结构未详载。

---

① 我国古代误认岁差使黄道沿赤道西退，实际正相反。

## 第五节　传统仪器发展的鼎盛时期(宋、元至明初)

与隋唐相比，宋以后的经济无论在农业、手工业、商业、国外贸易等方面都有巨大发展。国家的统一，社会经济的繁荣，使得北宋能集中较为雄厚的物质力量来发展科学技术，尤其是当时冶炼和机械制造技术水平的提高，为天文仪器制作提供了良好条件。我国传统的圭表、仪象、漏刻等，在宋、元两代，都有重大的进展和突破，出现了超越前代的鼎盛局面。

天文仪器的巨型化、精细化与多用化是这一阶段的特点。

圭表方面，元代郭守敬敢于突破前人，于公元 1278 年前后，树立 4 丈高表测影，把传统圭表测量精度大大提高。据分析：僧一行(728)测晷影长度误差为0.022尺；北宋周琮(1064)降为 0.017 尺，代表唐宋时期 8 尺圭表测影达到的精度；郭守敬(1281)的测影误差则为 0.010 尺上下，如归算为 8 尺表，误差约为 0.002 尺。

仪象方面，北宋张思训制成太平浑仪(979)；韩显符主持制成至道浑仪(995)；舒易简主持制成皇祐浑仪(1051)；沈括主持制成熙宁浑仪(1073)；苏颂、韩公廉主持制成元祐浑仪(1092)。可算精彩杰作，在前后不到百年之间就连续问世。史载其每架约重 1 万千克，无论在数量上或质量上，都超越前人。其中如沈括设计的熙宁浑仪，周密地考虑了仪器安装误差和简化浑仪规环的问题。至于太平浑仪，实际上是具有铃、钟、鼓三种信号的报时浑天仪，有 12 个木人拿时辰牌循环报时，其日月、昼夜行度完全由仪器自然运作，而巧妙之处则在于不用水力而改用水银作为动力。而元祐浑仪，实际上是浑仪、浑象和报时组合的仪器，构思巧妙、功能齐全。其中浑象部分和以前的大体相同，但报时项目则增加昏、旦时刻和夜晚更点，达到了空前精细的程度。





元代，郭守敬的简仪、仰仪创造，在结构刻度、观测照准方法上，较传统的浑仪更为合理而为人称道，以其中简仪的采用赤道装置于公元 1276 年，比欧洲第谷采用类似赤道装置(1598)早 300 多年而享誉世界。还有正方案、景符、窥几、玲珑仪、七宝灯漏等 10 余种仪象的发明，可用于多种天象的测量或演示，它们均以精巧著称。这些繁花似锦的仪象，树立了宋元时期中国古代天文仪象发展鼎盛的丰碑。

漏刻方面，北宋燕肃于仁宗天圣八年(1030)发明精确的“莲花漏”。其结构优点有三。首先，在漏壶上采用漫流系统，即在第二级漏壶上部开孔，使多余的水由此溢出，保持水位恒定。其次，根据不同节气和昼夜长短，以及不同地区，分别制造刻度不同的浮箭 48 支，每个节气，昼夜各更换一支。第三，头部刻有莲花的箭插入装在壶上的莲心，箭由于水的浮力穿过莲心沿直线上浮，不致摇摆。这些优点，大



为提高计时准确度，各州郡都采用。后来，舒易简（约 1050）和沈括（1074）等加以改进，使之更为精密。

元代漏壶，已知的有元延祐三年（1316）一套漏壶，为受水型，自上而下分别叫日壶、月壶、星壶和受水壶，共四级。

明初，洪武元年（1368）在南京设立司天监和回回司天监。十七年，把元大都天文仪器运往南京。洪武三十年，将司天监改称钦天监，中设天文、漏刻、大统历、回回历四科。

明成祖迁都北京，经过仁宗、宣宗两代，在北京没有制造过天文仪器。到了英宗正统二年（1437），才命钦天监官到南京先用木料制成仪器模型，然后回北京用铜铸造。正统七年的御制《观天器铭》文中，记有浑仪、简仪、浑象、圭表四器。

以上就是北宋、元代至明初的天文仪器发展概略。可以这样说：在北宋时期已呈现蓬勃上升鼎盛态势，至元代郭守敬时期更为锦上添花，达到全盛期的高峰。

## 第六节 传统仪器发展的停滞和古典西方仪器的传入（明中叶至清前期）

明代以后，特别自明中叶以后，封建制度已日趋腐朽。我国天文学的发展亦进入一个极为艰难的时期。中国历法是古代天文学的主要部分。明以前的封建统治者虽然禁止民间私习天文，却从未禁止过私习历法。可是到明王朝竟有“习历者遣戍，造历者殊死”的禁令，造成这时期的历法无所作为，天文仪象制作处于停滞倒退的境界！

虽然，在明初期，詹希元曾创制《五轮沙漏》。在中期，朱载堉、邢云路等人着手重整《授时历》，从事一些天文实测，其中邢云路在兰州立 6 丈高表，于 1608 年测得回归年长度新值，达到中国古代与当时世界的最高精度！然而，他们的成就在朝廷浓厚守旧气氛中，仍不足以引起巨大的反响。




可是随着万历二十年（1592）五月的月食和三十八年（1610）十一月日食的预报错误，改历的呼声亦为之高涨。就在这个时候，欧洲耶稣会传教士，了解到中国对新知识的要求，采取学术传教的方针，来敲开中国的大门。早期来华的意大利人利玛窦（1583 年来华），曾多次向欧洲报告中国对天文学知识的需要，以后来华的耶稣会士大都懂天文知识，甚至受过专门训练。因而，他们所介绍的欧洲天文学知识，受到当时中国进步知识分子的欢迎并加以翻译和介绍，于是，西方古典天文仪器，就涉足中国本土了。

早期出版的有关欧洲天文仪器的著作有《浑盖通宪图说》（1607）；《简平仪说》

(1611);《表度说》(1614);《远镜说》(1626)。所谓"浑盖通宪"和"简平仪",都是一种星盘;"表度",则是西方日晷。第一本书是李之藻所写;其他都是耶稣会士在中国学者协助下写成的。

崇祯二年(1629)九月二十二月,徐光启受命成立历局,聘请耶稣会士邓玉函、罗雅谷、汤若望等参加编历译述工作,经过5年努力,辑成《崇祯历书》。其中徐光启曾上书请求制造"急用仪象"10种,加上后来李天经督造的两种仪器,共12种新仪器,依次为:①七政象限大仪;②列宿经纬纪限大仪;③平浑悬仪;④交食仪;⑤列宿经纬天球仪;⑥万国经纬地球仪;⑦节气时刻平面日晷;⑧节气时刻转盘星晷;⑨候时钟;⑩测候七政交食望远镜;⑪浑天仪;⑫黄赤经纬大仪。据《明纪事本末》载:"崇祯七年冬十一月,日晷星晷仪告成;上命太监卢维宁、魏征验查。"还有罗雅谷、汤若望在历局造象限仪、平面悬仪、象限立运仪、弧矢仪、纪限仪等仪器。这些仪象是否有一部分包括徐光启请造的仪器之内,已否造成,或已遗失,尚待查考。

清代康熙年间,比利时传教士南怀仁主持钦天监,提出应该制造更为新式天文仪器,得到批准。从康熙八年至十二年(1669—1673),共铸成赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平经仪、地平纬仪、纪限仪及天体仪等六大件。这些仪象都是按欧洲古典仪器的风格设计的,打破中国传统浑仪环圈套叠的缺点。还采纳了1631年才在欧洲问世的游标尺读数法,因而精度提高,如黄道经纬仪和赤道经纬仪的读数已达到15秒;地平经仪和地平纬仪则已达到6秒。

随后,康熙五十四年(1715),传教士纪利安设计制造地平经纬仪,亦采用欧洲仪器图案风格。至于乾隆九年(1744),由戴进贤等人监制的"玑衡抚辰仪",则是仿照中国传统浑仪设计的,但丢掉黄道和地平两个环,并采用360°分刻度,在窥衡中置十字丝,以及配备附属游标等,可算是中西结合风格的仪象。



以上是古典西方天文仪器进入中国官方天文机构的足迹纪实。以送礼方式向清朝廷进贡天文仪象,亦是传入的另一途径。

《皇朝礼器图式》中记录的西方天文仪象,有以下几类:

(1)测时仪器。三辰简平地平合璧仪,共分六层,具有星盘、指南针、地平经度仪及象限测高仪等功能。星盘,包括简平仪及圆盘日月星晷仪。日晷,包括地平半圆日晷、地平经纬赤道晷等9种。月晷、星晷及日月合晷。

(2)测角仪器。四游千里镜半圆仪,矩度象限仪等,用于地平高度和方位测量。四游表半圆仪,双游表半圆仪等,用以测量两点直线距离。双千里镜象限仪、测太阳高度象限仪等,用于地平高度测量。其中四游千里镜半圆仪和双千里镜象限仪,以望远镜作为瞄准装置,颇为新颖。

(3)反射式望远镜和朔望入交仪等。后者用于日月食时的食分推算,反射式望



远镜是乾隆年间西洋进贡的，乾隆曾用以观测日食。

(4)演示仪器。地球仪、浑天合七政仪和七政仪。后两仪器用以演示日心体系，于 18 世纪初由欧洲传入中国。

## 第七节　西方近代天文仪器的传入(晚清至 1949 年)

晚清的钦天监的天文仪器，只停留在 17 世纪欧洲古典天文学的水平。而对于当时正处在蓬勃上升阶段的欧洲天文学以及相应的天文仪器进展情况，则茫无所知。

然而，事物总是在发展的。从晚清，历经民国至 1949 年期间，出现两种传播、引进新天文学知识和天文仪器的途径，一是西方教会等在中国兴办的教学或观测场所，另一是国家兴办的学府和研究性天文台，后者起着积极的作用。

例如，1845 年美国圣公会在上海创立圣约翰书院，其中就设有天文科。1864 年美国长老会在山东登州创立文会馆，内设数理、中文和天文三科。这所学馆后来与其他一些学校合并，于 1917 年迁到济南，成为齐鲁大学，内设天算系。1872 年，法国天主教会在上海徐家汇建立天文台；1900 年又在邻近上海的松江县建立佘山天文台。1894 年，日本在台北建立测候所。1898 年，德国在青岛建立海岸信号局，两年后又设立气象天测所。

1926 年，我国把在广州的国立中山大学数学系扩充成为数学天文系，该系于 3 年后建立天文台。1935 年“中央研究院”天文研究所设立了紫金山天文台；该台于 1938 年迁往昆明，在凤凰山建立观象台。

这些高等学府和研究性天文台，成为近代西方天文仪器传入和使用的机构，在教学和研究方面，起到良好的作用。

(1)大、中型望远镜方面。口径 60 厘米反射望远镜(紫金山天文台)，口径 40 厘米双筒折光赤道仪(佘山天文台)，口径 32 厘米天图式赤道仪(青岛观象台)，口径 20 厘米赤道仪(紫金山天文台)。

(2)方位天文和时间、纬度测量方面。六分仪、多功能经纬仪、子午仪、中星仪(折轴式子午仪)、等高仪、计时仪、恒温恒压天文钟。

(3)经典天文学观测方面。变星仪、彗星照相仪、闪视比较仪、罗氏显微光度计、底片量度仪。

(4)太阳观测方面。太阳分光仪、太阳偏振镜、太阳黑子照相仪、测量光谱光度计。

以上这些就是我国在这段时期中天文仪器引进的概略。由于时代的进步，科

学技术发展突飞猛进，新的天文仪器不断出现。尤其到了20世纪二三十年代，国际交流日趋拓展，因而，此时的西方天文仪器的传入，标志着我国进入接受更高层次的西方天文学的开始，这与明末清初的传入西方古典天文学和天文仪器，有着本质的差别。而我国的近代天文学，亦就以这为基础，进入更繁荣的阶段。

## 第八节　天文仪器与政治

中国天文学的一个特点，是自始至终控制于皇权之下。封建统治者，把天文现象用于占卜皇权盛衰，国家兴亡和自然灾害，因而处于保密状况；而编制历法时，由于与纪元的选用，即“奉正朔”有关，代表承认某一统治阶级，因而也理所当然地列入控制之内。帝王是上天降临来统治人间的更是古代统治者的信条，也是麻痹人民的主要内容。

涉及天的研究，观测天象的天文仪器，因此自然被认为是一种必须工具。天文仪器，实际按古义出典来说就是仪器，仪器主要指天文仪器。《说文解字》中，仪的含义是“度也，度法制也”，就是说仪器是法制之器。而法制之器的仪器即“测天之器也”。《清会典》：“凡天行，昼测以晷影，夜测以中星。凡日月星之相距，必测其度而验焉。皆揆以仪器。”以敬天法祖为信条的帝王，把测天的仪器视为代表国家礼节的器物，这样天文仪器就成为了皇权的代表。历代改朝换代攻破京城后除了先缴律令、图书等档案资料外，就是天文仪器了。金破开封将北宋天文仪器辇送中都；金贞祐元年蒙古兵围中都，金不及取走天文仪器亦特书之史册；明灭元，将全部元的天文仪器运到南京，以致后来明成祖迁都北京，无仪器使用，只能在齐化门城楼观测。历代如此，可见对天文仪器的重视。





它的后果，正面的是天文仪器的制造受到重视，每次制造仪器都由皇帝批准，指定专人负责，有足够的国家财力为支持，使天文仪器的制造、改进与使用，得到保证。而不能发挥广大人民群众的创造性则是缺陷。历代，在禁止人民学习天文的禁令放松时，往往有不少来自民间的好的对天文仪器的改进方案、意见提出，或创制成仪器。如北宋崇宁年间王姓方士提出的漏水转浑象方案等。民间漏刻，只用于民用计时，是自由发展的。

天文仪器之所以被帝王重视，其原因从以下几例可知。

(1)《宋史·韩显符传》：“抚浑仪，观天道，万象不足以为多，是知浑仪者实天地造化之准，阴阳历数之元，自古圣帝明王，莫不用是精详天象。”“若人目窥于下，则铜管运于上。七曜之进退盈缩，众星之次舍远近，占逆顺，明吉凶，然后修服俾顺其度，省事以退其灾，悉由斯器验之。”




(2)西汉哀帝(前 6—前 2)时,待诏夏贺良建议将每天 100 刻改为 120 刻,这是计时制的改变,也是漏刻中刻箭的分划改变。《汉书·哀帝本记》:“以建平二年为太初元年(前 5)……漏刻以百二十刻为度……八月,诏曰:待诏夏贺良等建言,改元易号,增益漏刻,可以永安国家。朕过听贺良等言。……皆违经背古不合时宜……贺良等反道惑众,下有司,皆伏辜。”从《汉书·李寻传》的记载,知道这是牵涉宫廷权力之争及哀帝疾病,有异常自然现象情况下,而采取的改元易号,增益漏刻的活动。夏贺良终以获罪处死,姑不论评,但增损漏刻能被认为与改元易号并论,作为一个禳解的政治措施,可见对于天文仪器漏刻的重视。

(3)清宫皇极殿漏刻上,清仁宗颙琰的御制铭文中写道:“敬授人时,语传尧典;小子继绳,敢不勤勉;……皇考作铭(指交泰殿漏刻,清高宗弘历御制铭),恭诵泪泣;守器毋忘,文思追缅;不匮惟勤,力行实践。”可见也是把漏刻,作为敬天法祖之器来看待。

(4)明正统年,英宗朱祁镇作的《观天器铭》中的铭文,则是更为全面地对天文仪器的政治地位,做了较多全面的叙述。《明史·天文志》做了记载:“粤古大圣,体天施治,敬天以心,观天以器。厥器伊何,璇玑玉衡。玑象天体,衡审天行。历世代更,垂四千祀。沿制有作,其制寖备。……县象在天,制器在人。测验推步,靡忒毫分。昔作今述,为制弥工。既明且悉,用将无穷。惟天勤民,事天首务。民不失宁,天其予顾。政纯于仁,天道以正。勒铭斯器,以励予敬。”这大体上可代表历代帝王,对天文仪器的态度和重视程度。

这些对于中国古代天文仪器的发展,起了很重要的作用,是研究中国古代天文仪器需明确的一个基本概念。

纵观天文仪器的发展,当然首先与天文学的发展密切相关。在各个历史阶段中,随着生产力的发展(倒退),有关科学技术的发展,也促进了天文仪器的发展。




圭表由于结构简单,无论制造使用的材料、工艺、技术均较简单,因而它发展较早。直到元代郭守敬利用小孔成像原理研制出重要的辅助仪器景符,才使它的观测精确度大为提高。浑仪的发展,从原始的雏形进展到成型的浑仪,则还需借助于铜铁冶炼制造技术的发展。

## 第九节　天文仪器与宇宙论

古代,宇宙论(宇宙学说)是研究天体系统的天文学分支学科。中国古代主要的宇宙论有盖天说、浑天说、宣夜说等。而其中前两者对天文仪器发展乃至对中国古代天文学的发展影响极为深远。

我国最早出现的宇宙论是来自直观的天圆地方说，即《晋书·天文志》中记载的"天圆如张盖，地方如棋局"。以后，又有了"天象盖笠，地法复盘"的周髀说。成书于汉代的《周髀算经》详细地介绍了这一盖天说。为了定量地说明这一盖天学说，为了解释太阳在一年中不同季节的视周日运动及出没方位，昼夜长度，盖天说引入了一个七衡六间图和盖图，并提出及应用勾股定理来计算处理圭表的影长。以数字来说明天、地的距离、尺寸等数据。其中以阳城为地中，该地 8 尺之表，夏至时表影长 1 尺 5 寸为基准，推论"凡日景于地，千里而差一寸"这一无根据而错误的数据。

圭表这一中国古代最古老而使用年代最长久的天文仪器，经元郭守敬发明景符作为辅助仪器，解决了太阳光源造成高表影长过长而产生的半影模糊。它在天文历法中能够测定方位、时刻、回归年长度和节气、北极出地高度(纬度)、黄赤交角等，一直是一种主要仪器。但由于受表影每隔千里相差 1 寸的错误影响，历代天文学家一直没有从实测及理论上对其彻底检验核实[①]，它导致了中国古代天文学上对地球形状的认识，一直处于只承认大地为一球面，而没有球体的概念。这种错误观点，在许多方面影响了中国古代天文学的发展(当然还有其他因素)。而圭表测影在天文历法中一直起着重要作用，因为确定季节、节气只需考虑同一地点在一年中各个日期表影的长度即可，而不需与其他地方进行比较。可以说圭表测影这种方法，在其固有的领域内得到发展，而却没有与盖天说彻底脱离关系。早期，盖天说认识地面为一球面，比天圆地方无疑前进了一步，在历史上起过进步作用，而以后却停滞不前。

以后出现的浑天说，认为天如鸡蛋，地如蛋黄，这一宇宙模型，比盖天说又前进了一步。屈原在《天问》中说："圜则九重，孰营度之?"可能圜就具有天球的概念。西汉扬雄在《法言·重黎》中写道："或问浑天，曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。"这一有关浑天的最早记载中，已把浑天说及其观测仪器(浑仪的早期型式)联系起来了。可是浑天说的经典著作《浑天仪注》的作者，中国古代著名天文学家张衡，在《灵宪》中也是认为："天体于阳，故圆以动，地体运阴，故平以静。"实际是把地看做是一个上平下圆的半球。三国时吴国的天文学家，也是浑天说的积极支持者，却以盖天说的勾股法测得天球上每度之距离。《新唐书·天文志》中晷之法条记载："吴中常侍王蕃，考先儒所传，以戴日下万五千里为勾股，斜射阳城，考周



① 隋代天文学家曾提出疑问；唐代一行、南宫说进行的我国首次也是世界上首次子午线弧度测量得出的数据曾否定了这一结论，但一直未予深入研究。直到明末意大利传教士利玛窦传来西方正确的地球球体的观点时为止。



径之率以揆天度，当千四百六里二十四步有余”[①]。将浑天、盖天混同考虑，这是我国史籍中天文、律历志内经常出现的情况。

出现这种情况的根本原因，在于政治、哲学、伦理上天为君，地为臣，君贵臣卑及师道尊严所致。因而如同圭表那样，浑仪在中国古代由简而全，而成熟，结构、部件经过历代不断改进，发展到了很高水平，在天文工作中起了很大作用。也囿于更高层次上的限制，未能促进天文学在一些重要方面的发展。





① 更详细的描述见《畴人传》卷五《王蕃传》。

# 第十一章　圭表与日晷

圭表是古代人用肉眼观测天象，借助于工具、仪器以确定天体位置所使用的最原始的设备；但它也是历经二三千年，被人们长期使用而且能得到相当精确的观测数据，而在天文学上起重要作用的天体测量仪器。

圭表远在周代，就已登上舞台，元代发展到最高水平，一直用到明、清。

它的基本结构分两部分，一根竖直于地面的杆称为表；一根水平安放，用于量度天体（主要是太阳）投射的杆影长度的量尺称为圭。

## 第一节　圭表的起源及应用

### 一、《周礼》和《考工记》的记载

史籍中最早记载圭表应用的是《周礼》及《周礼》中的一篇又可独立成书的《考工记》。《周礼》又称《周官》或《周官经》，系战国中晚期的一部托古著作，杂周与战国制度，寓以儒家政治理想而编成。秦始皇焚书坑儒时失佚，西汉重视文化遗产，整理搜集散失书籍时复出。原有六篇，即天官冢宰、地官司徒、春官宗伯、夏官司马、秋官司寇及冬官司空，记载各类官职、组织及掌管的事物。复出后冬官已缺。《考工记》是最早的一部手工艺专著，非一时一人所作，一般认为是战国初年齐国人所作，其内容绝大多数是战国初年的，某些材料则属春秋晚期或更早年代的。遭《周礼》同样命运，复出后即以之补为《周礼》的冬官。



《周礼注疏》卷十，大司徒：“以土圭之法测土深。正日景以求地中。日南则景短，多暑。日北则景长，多寒。日东则景夕，多风。日西则景朝，多阴。日至之景，尺有五寸，谓之地中。天地之所合也，四时之所交也，风雨之所会也；阴阳之和也。”

《周礼注疏》卷四十一，《冬官考工记》：“匠人建国。水地以县。置槷以县。眡以景。为规识日出之景，与日入之景。昼参诸日中之景，夜考之极星，以正朝夕。”

文中诸词之意如下。土圭，据《周礼·冬官考工记》郑注，“土犹度也。”土圭即度圭土深，南北东西深广。建国，营建城邑；水地以县，于造城邑之处，四角立柱，悬绳以使柱铅直，以水平法测地之高低；然后平地。槷，古臬字，木杆；眡，同视；景同影。悬绳以定标杆的铅直，然否测杆之日影。规，在地上以杆心为中心，画一圆圈，



日出时在圆上标出杆影之交点，日入时亦如此。连此两点一直线即东西线，其正交方向即南北方向。

前一条是用圭表（或称土圭）测所在地之位置；后一条则是测定方向，这是圭表应用的最早的记载。

由这两书所用材料及成书年代可知圭表的出现，至迟在战国初期。

## 二、圭表的应用

圭表为一投影的直立标杆，其初期形式，或为木杆或为石柱。因其材料不同，史籍用不同的名称：竹为竿；木为臬，为槷，为椑；石为碑等。圭为度圭，即量度的尺。圭的释义本为，王者以封诸侯之玉，其制有上圆下方者，有上锐下方者。因而最初的圭，不可能是大尺寸的。上述"日至之景，尺有五寸，谓之地中"句，郑玄注引郑司农说"土圭之长尺有五寸，以夏至日，立八尺之表，其景适于土圭等"。即夏至8尺高的表，它的影长1尺5寸，就是土圭的尺寸。《考工记》卷下，说到制玉工匠玉人主管的事，列举各种圭的尺寸和用途，说"土圭尺五寸，以致日，以土地"（测日影，量土地地域）是很明确的圭，并非固定在地面，而是像尺那样，在测日影长度时，一土圭、一土圭的来量度。

圭表用于天文测量的用途：

（1）定纬度，于前已叙。当然古人那时尚无纬度的概念，而只是定南北位置。

（2）测定方向，已于前说了。当是用于建筑，确定城垣、宫殿、房屋、陵墓等的位置和方位。[①]

（3）测定回归年长度。是古代历法的主要内容之一，古代称为岁实，同样，测定历法中的其他主要内容，定夏至各节气的日期。《周礼注释》卷二十，春官宗伯篇的典瑞："典瑞掌玉瑞玉器之藏。辨其名物，与其用事……土圭以致四时日月，封国则以土地……"四时即春夏秋冬各季节。同一宗伯篇冯相氏"掌十有二岁，十有二月，十有二辰……冬夏致日，春秋致月，以辨四时之叙"。郑氏注冬夏至日期，是以8尺之表的影长来确定的，最晚在春秋中期已用此法。




（4）测定时刻（见图11－1～图11－3）。一天内日影最短时为正午，即地方视太阳时12时。从一天中表影方位的变化还可以测定时刻。但由于时刻（角）应在赤道量度，在地平上量度的时刻是非等间距变化的（到宋代才认识，见浑仪章）所得时刻精度低。但如以连续两次正午表影来校正计时工具漏刻，效果好，则可得到由漏刻指示的时刻。《周髀算经》中介绍了以1个定表1个游表，测二十八宿距星。

---

① 《诗·大雅·公刘》："既景乃冈，相其阴阳"意为考于日影参之高岗。意味着公元前15世纪末周人已能立表定向。

即在平地上画一圆，圆心立定表，另以一游表置正南方，当某宿距星中天时，迅将游表循圆周移动，以瞄准下宿距度。则游表在圆周上所对圆心的夹角，即为某宿之距度，而实际上则是方位差，而非赤经差。已如上述。

(5)应用两条表影，可测得黄赤交角。

(6)测北极星上下中天高度，可得北极星极距及北极出地高度，在子午圈上测两天体之高度，可得其极距(赤纬)差。

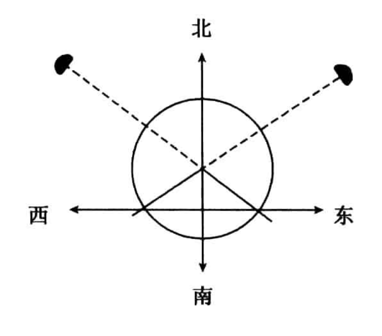



图 11－1 《考工记》"以政朝夕"示意图

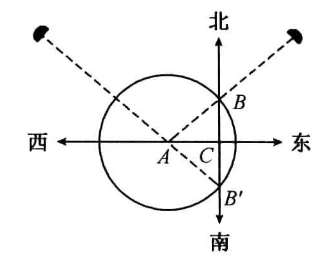



图 11－2 《淮南子・天文训》立表定向示意图

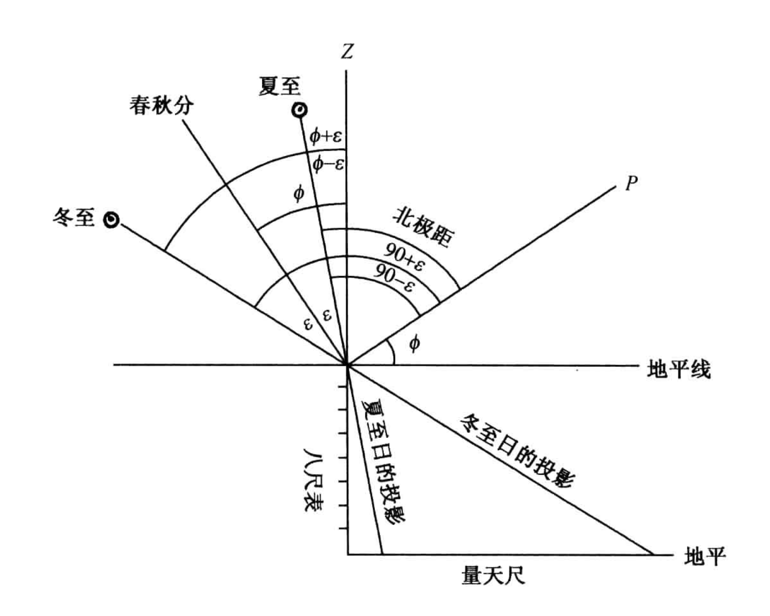



图 11－3 黄道倾角与表影的关系







## 三、圭表与《周髀算经》

《周髀算经》原称《周髀》，是我国古代一部天文历算科技著作，约成书于汉代。它也是我国第一部提出由测量、计算表影把盖天说宇宙论定量化的书。书中最早引用(出现)了勾股定理。

《周髀算经》中提出的一些数据，可供我们推论圭表的出现年代。它给出夏至表影长1尺6寸，冬至表影长1丈3尺5寸。

根据《周髀算经》给出的“周髀长八尺”即表高8尺。则我们由表高、夏至表影，应用简单的三角学关系得到夏至太阳的视天顶距。再加太阳视半径改正、蒙气差改正，可得太阳的真天顶距。同样可得冬至太阳真天顶距。应用子午圈上的简单关系得到观测地点纬度为35°37′，黄赤交角为24°01′.5。

这一纬度值相应于商代都城朝歌的地理纬度；而这一黄赤交角值是公元前2500年的数值(夏代约在公元前21世纪—前16世纪)。由于古代史籍给出的数值常有把先后年代中得出的数值混淆一起等因素，上述算得的年代可能早了些①。

为什么古代使用的表大都高8尺！

郑文光认为②这是测量表影的需要，而导致发现了勾股弦定理，它是与希腊各自独立发现的。《周髀算经》说“髀者股也，正晷者勾也”，就是说表是股；晷指日影，正北方的日影为勾。表端至影端的连线为弦。这一连线，常被应用于测量，即以实际的一根线相连用来瞄准天体，如前所述的测量二十八宿距度等。由于在测量表影的工作中，表杆是否处于竖直方向，直接影响精确度，就是《考工记》中所说的必须“置槷以县”用垂线校正。实际工作中发现，如保持勾3、股4、弦5则为一直角三角形，表杆自然处于垂直地面的位置。因而：①发现了勾股弦定理；②据此定出了符合此定理的表高。《周髀算经》赵爽注“候其影，使长六尺者，欲令勾股相应，勾三股四弦五，勾六股八弦十。”那么表高为什么取8尺而非4尺？可能是8尺与人高相若，使用起来方便些。(周尺1尺等于19.91厘米，秦汉1尺为27.65厘米)。在阳城表高8尺，夏至影长1尺5寸，取为古土圭的尺寸，也可能是这一原因。




① 根据《周髀算经》给出的24个节气的表影长度，分别计算得出的结果分歧很大。这一问题值得探讨。

② 郑文光：《中国天文学源流》，第5章2，土圭，科学出版社，1979年。

## 第二节　圭表的改进

### 一、表高的变化

《春秋左传正义》卷十二，鲁僖公五年(前655)："传五年，春王正月，辛亥，朔，日南至。公既视朔，遂登台以望，而书，礼也。凡分至、启、闭，必书云物，为备故也。"这是古代文字记载观测分至有关的最早记载。晋杜预注，启为立春立夏，闭为立秋立冬。云物为大气情况。此时已对八个节气有了观测。

六朝人撰唐人修补，记汉代三辅古迹的《三辅黄图》："长安灵台有铜表，高八尺，长一丈三尺，广一尺二寸。题云太初四年造。"其中长即指圭的水平长度。此铜表想为太极改历时所用。这是最早的有关圭表结构的记载。

历代的圭表，其结构基本相同，不像浑仪、浑象、漏刻其他天文仪器那样有较多的演变。有变化的主要是高度和用材。高度大部为8尺，材质则有木、石、铜各种，以铜质为多。圭表的水平，表的竖直则是一直注意的内容。为提高量测日影长度的精确度，后来制了高表，但因太阳是一面光源，表端半影造成表影影虚，元郭守敬发明了利用小孔成像的附件景符，这是重大改进，容后专述。

西汉编著的《淮南子》天文训："欲知天之高，树表高一丈"这里出现了10尺的表。

《畿辅通志》卷五十六："圭表设于观象台下晷影堂，南北平置铜圭。于石台南端立铜表，高一丈……京师夏至影二尺九寸四分八厘，冬至影一丈九尺九寸四分"，此为清《大清会典》所载，亦记载在清《皇朝文献通考》内。可知清代亦用10尺表。





《隋书·天文志上》晷影："至大同十年(南朝梁武帝，544年)，太史令虞■，又用九尺表，格江左之影。夏至一尺三寸二分，冬至一丈三尺七分，立夏、立秋二尺四寸五分，春分、秋分五尺三寸九分"，这是国家天文台从长期沿用的八尺表，首次改为其他尺寸的第一次正式记载。改为9尺的理由是为了要使影长与阳城八尺表影长相近。这完全是没有意义的事，任何一个朝代所得的表影长度，实际是与表高的比例。每一朝代的尺长标准大多不同，但只要是表高数相同，则得到的影长数，是可以相互不经换算而比较的。采用不同的表高去凑古代的数据，毫无意义。(况且南朝度量制每尺为24.51厘米，前汉为27.65厘米，后汉为23.04厘米。)

历史上最高的表为明邢云路的60尺表。甘肃《张掖县志》："巩昌兵备道邢云路于兰州立六丈表，测戊申立春时刻，与郭守敬消一之历符合。"

元的4丈表是最著名的表，配以景符测量精确度极高。



明清均有4丈表。《明史·天文志一》"嘉靖七年(1528),始立四丈木表以测晷影,定气朔。由是钦天监之立运仪、正方案、悬晷、偏晷、盘晷诸式具备于观象台,一以元法为断"。可见明的4丈高表,也是配备景符等辅助设备的。

清代除用10尺表外,亦用过40尺表。《清史稿·时宪志一》:"梅瑴成言表高景澹……乃仿元史郭守敬制造景符六,如法用之,影尾数始毫末不爽。测得畅春园北极高三十九度五十九分三十秒……(康熙五十三年)十一月诚亲王允祉等言郭守敬造授时历遣人二十七处分测故能密合。今除畅春国及观象台逐日测验外,如福建、广东、云南、四川、陕西、河南、江南、浙江八省于里差大为较著。请遣人逐日测量,得其真数,庶几东西南北里差及日天半径皆有实据。从之。"可见除北京两处同时用4丈高表测影外,又同时在今9个省同以高表测影,规模较大(清初江南省包括江苏、安徽二省)。

## 二、圭表安装的改进

圭表所应处的正确位置为表在竖直方向,圭面水平而位于南北方向。前者可用垂线校正,《考工记》中已指出;后者保持水平就成为圭表安装的一个重要问题了。

在圭面开水沟,注水以作校正仪器之用,这种办法很早就使用了。1965年江苏仪征县石碑村东汉墓中出土的袖珍铜圭表的圭面,就有一周长方形水沟。此圭表为1∶10的模型或明器,圭面刻画尺寸,间隔不均匀,但与正规圭表型式相似、尺寸成比例。因而可以认为当时已采取这种定平方式。而对汉代大型圭表的构造,则未见文字记载的史料。浑仪基座上的定平水沟,则始于宋皇祐浑仪,由于浑仪结构远较圭表复杂,史料记载亦较详细。圭表结构则史料甚为简单。据《隋书·天文志上》晷影:"梁天监(502—519)中,祖暅之造八尺铜表,其下与圭相连。圭上为沟、置水,以取平正。揆测日晷,求其盈缩。"宋沈括的《景表议》中有"环趺刻渠受水以为准",后来大型圭表多有此种水渠。郭守敬40尺高表的圭面长达128尺,宽4尺5寸,也是采取"两旁相去1寸为水渠,深广各一寸,与南北两池相灌以取平"的方式。128尺长的圭面是由数十块石块拼接,制造安放到水平状态,如不用水渠是很难保证合乎要求的。




沈括还采用了把圭表放在顶上开有狭缝的密室内进行观测的措施,以避免尘埃漫射阳光的影响。这就是他在《景表议》中所说的:"倘在人目之外,则与浊氛相杂,莫能知其所敝;而浊氛又系其日之明晦风雨,人间烟气尘坌变作不常。"因而他"为密室以栖表"的方法来解决这一问题。后来元札马鲁丁制的西域仪象中的"鲁哈麻亦渺凹只"即春秋分晷影堂和"鲁哈麻亦木思塔馀"即冬夏至晷影堂亦均采用

有缝罅的观测室这种方法。明清北京观测台的圭表亦均置于晷影堂内观测。《明史·天文志》仪象:“成化十四年,监臣请修晷影堂。从之。”可见这种办法是有效的。沈括已采取设立副表以使表影清晰易读:“副表并趺崇四寸、趺博二寸,厚五分……凡景表景薄不可辨,即以小表副之,则景墨而易度。”

北宋天文学家周琮领导监制的皇祐圭表,是天文律历志中除郭守敬高表外列有专条介绍的另一例。《宋史·律历志九》皇祐圭表:“今司天监圭表乃石晋时(936—946)天文参谋赵延乂所建。表既欹倾,圭亦垫陷,其于天度无所取正。皇祐(1049—1053)初诏周琮、于渊、舒易简改制之。乃考古法,立八尺铜表,厚二寸,博四寸,下连石圭一丈三尺,以尽冬至景长之数,面有双水沟为平准,于沟双刻尺寸分数,又刻二十四气岳台晷景所得尺寸,置于司天监。”

北宋天文学相当繁荣,仪象、漏刻等天文仪器的研制甚多,但对于历法工作中十分重要的圭表,都还是使用100多年前已欹倾垫陷的后晋旧物!且圭表结构、制作费用远较仪象漏刻简廉,为何未及时修造新表?

中国古代以圭表定季节,编制历法由来已久。北宋共改了8次历法(应天、乾元、仪天、崇天、明天、奉元、观天、纪元),还不包括制而未行的3种。改历之频繁一方面是由于生产力发展后对历法要求的提高。而从另一方面来说“也表现了天文学本身的进步还是不够的。各次改历大都是数据的变更和经验公式的改善”①。皇祐初,诏令舒易简、于渊、周琮不但改制了圭表,还改铸黄道浑仪和漏刻。其中黄道浑仪称皇祐浑仪,有了本质改进,将地平环规上的百刻分划,移刻到赤道环上;并在地平环规及仪器底座上开水平沟作定平用。漏刻也采取用平水重壶均调水势的改进。这些都为三人之一的周琮于治平元年(1064)编制明天历提供了基础。





## 三、圭表结构及附件

圭表结构简单,历来本身改进甚少。北宋熙宁七年(1074)沈括上的浑仪、浮漏、景表三议中的《景表议》中,有两条改进:①在表之四周,各悬一绳,绳之末端各垂一铜球,以作校正表的垂直之用。这种方法并非沈括首创。《周礼》中记载的“水地以县,置槷以县”这句话,据唐贾公彦疏解认为在表的4个面中间及4个角上各悬挂一根绳,如8根绳都与表面紧贴则此表处于竖直状态。这种方法也许一直使用,但无记载。沈括则给予了具体记载。②使用一个高4寸,宽2寸、厚5分的副表。观测时置于正表的影中,使两表影端重合,以减少正表影端的半影模糊。

清代10尺表的立圭:清乾隆九年(1744)将明尺8尺表增加到清尺10尺,而圭

① 《中国天文学史》,科学出版社,1981年,第34页。



则仍保持明尺15尺。而在圭的北端增加了一个清尺3尺5寸的立圭。此圭表现陈列在南京紫金山天文台(图11—4)。

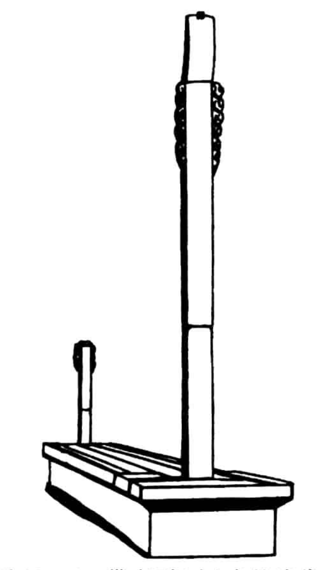


图11—4　带有副(小)表的清代圭

这个立圭看来是解决冬至影长超出圭面而设的。立圭上读到的读数,可以通过简单的三角公式换算为水平圭面的读数[①](图11—5)。

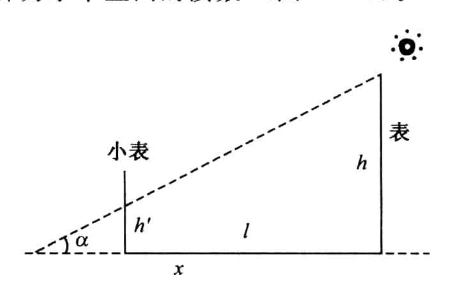



图11—5　用副表读数换算影长

此圭表的圭面长度系明制15尺,以明制8尺表来说,对于南京地方的纬度32°.1,以黄赤交角约值23°.5计算,冬至日影长为11.7尺,已足应用,自不需设立副表。而对北京地区的纬度39°.9,冬至日影长为15.97尺,只超出圭长的1尺。为何不将圭长稍造得长一些,以满足北京使用的要求,而造一立圭,使观测值需经换算才能使用,岂不麻烦?

---

① 设表高 $h$ 尺,观测时在立圭上读数为 $h'$ 尺;折合成平面圭上的读数为 $x$ 尺。若弦之仰角为 $\alpha$,则有 $\mathrm{tg}\alpha=h/x=h'/(x-l)$ 化简得 $x=\frac{hl}{h-h'}$,式中 $h$、$l$ 已知,$h'$ 为观测值。

按《明史·天文志一》仪象中载："正统二年(1437)行在钦天监正皇甫仲和奏言南京观象台设浑天仪简仪圭表以窥测七政行度，而北京乃止于齐化门城上观测未有仪象，乞令本监官往南京用木仿造，挈赴北京以校验北极出地高下然后用铜别铸……从之，明年冬乃铸铜浑天仪、简仪于北京"，明年，铸制于北京，并御制观天器铭，其铭文中有"别有直表其崇八尺，分至气序考景咸得"。可见这次在南京预制木样，送到北京后铜铸的仪器中是包括圭表的。后来正统十一年(1446)监官又提出仪器及环境的不足，次年又提出漏刻漏箭(表示不同季节昼、夜的刻箭分划)仍为南京制式，请求改正。

这段记载说明了原来明初天文台设在南京，而北京直到正统年间仍无观象台，亦无正规天文仪器。仪器是在正统二年由南京制造木模送北京再铜铸的。重要的是木制仪器，并未在京校验后再以铜铸。而对于天文仪器来说，南北不同地方，北极出地(纬度)不同，是有不同要求的。如对漏刻来说，由于太阳出没时刻、昼夜长度在同一日期中南北各地不同，这是中国古代漏箭制度按季节换箭(不同的适合各个节气或日期使用的漏箭，其上在全天百刻时间内，还分昼刻或夜刻的标志)的重要内容。送往北京的刻箭上昼、夜长度显然按南京纬度分划，到北京后并未立即通过实测校正。同样圭表中圭面的长度也是按南京纬度考虑的。或者说制圭表的钦天监官员水平略高些，并未按南京的全部抄袭，因为那样，圭面只要造成12尺或13尺就足够了。为什么造成15尺，城地茂氏在《盖天论与圭表》[①]中认为是因受盖天论的"一寸千里"的影响，其南北每差千里冬至影长差1寸。按冬、夏至在阳城(地中)影长之比为13.5尺/1.6尺=8.44倍，从南京冬至影长11.65尺，加上南北两地相差2 900里，计算=11.65尺+0.1尺×2.9× 8.44≈14.10尺，而得。其中除2 900里数值可能略有出入(需要换算到南北方向上的距离)外，大致如此。城地茂氏此论可以讨论。盖天论的影响，在早期提出大地为球面，曾有进步意义，但对地球非球体的认识，影响了中国古代天文、地理、制造等学科的发展达二三千年。

## 第三节　圭表与盖天说宇宙论

圭表用于天文测量其起源甚早。但用它测定的量来确定的有关天文数据，有两方面。

① 刊于《近代中国科技史论文集》，第139～154页，"台湾中央研究院"近代史研究所、清华大学合编，1991年。



## 一、历法中节气的确定

根据中午时表影长度确定节气。开始时是对冬至夏至日影长度的测定。这是太阳赤纬达最大值和最小值的两个时刻，冬至时日影最长，夏至时最短。以后推广到两分，此时太阳赤纬为零度，这两个时刻太阳中午高度相等表影亦等长，它们又近于在两至的中点。随着农业对历法的需要，形成了二十四节气。以表影长度确定节气，是圭表在历法制定中的主要工作内容。而历法的基础回归年的长度（日数），也是根据冬（夏）至一个周期的长度而确定的。

二十四节气的名称最早见于《淮南鸿烈·天文训》，而二十四节气的表影长度则最早见于汉赵君卿注的《周髀算经》，它是盖天说的经典著作。

## 二、地中与千里一寸

确定二十四节气的表影长度，对于每一个不同纬度地方都可以有它本地的数值，其理甚明。但最初给出的是以周都洛阳附近地方（阳城）的数据。夏至影长1尺5寸，冬至1丈3尺（这是《周礼》中的数值；《周髀算经》中给出的是1尺6寸及1丈3尺5寸，略有不同）。以土圭（1尺5寸长的玉石制的量度尺）在该处量度中午日影即可测得夏至日的来到。

《周髀算经》力图以数量定量地解释它的宇宙模型。为了解释它的基本概念："天象盖笠，地法复盘"，解释天体的东升西没、日月五星相对于恒星在天球上的运动。它设想了一个蚂蚁在磨盘上爬行的模型。认为天体都附在天盖上，随着天盖自东向西旋转，而日月五星则又在盖上如同蚂蚁那样向东爬行，但仍被磨盘带着向西转动，设计了一个七衡六间图来说明一年不同日期太阳在天空中的周日运动轨道。最外层轨道，直径47.6万里为冬至太阳轨道，最内层为夏至太阳轨道，直径23.8万里，其余节气的轨道则在内、外层轨道之间。这7个同心圆的中心是天极，它的下点为极下，即地上的北极。人居在北极之南，在内层轨道内以人居地点为中心，人目所能及的范围16.7万里为半径画一圆，此圆相交于东、西方各7个点。当太阳循某一轨道行到东面与此圆相交处，人眼即能看到，是为日出，其相对于圆心（人居地）的方位即为日出方位；同样历经在圆半径内的白天行到另一交点处即人眼可见范围极限时，就看不到了，即为黑夜。




盖天说假设的人目所及的范围16.7万里，是没有根据的。而它的冬、夏至太阳轨道半径11.9万里和23.8万里，是根据下列办法推算出来的：

(1)把人居地定为阳城称为地中，在阳城树立8尺的表，人在表南通过表顶以眼瞄准北天极（令北极、表顶、人目在一直线上），量得北极投影为1丈3寸（人目至

表的距离)。

(2)根据天极到极下高8万里的假设,及北极投影1丈3寸的测定,可得极下到阳城的距离为10.3万里。

(3)从阳城夏至实测日影长1尺6寸,以及假设向南(北)千里日影短(长)1寸的理论,可知夏至太阳轨道下点南距阳城1.6万里。从冬至阳城实测日影长1丈3尺5寸,可知冬至太阳轨道下点南距阳城13.5万里。

(4)太阳轨道的圆心为极下,从(2)已知极下距阳城10.3万里,因此:

夏至太阳轨道半径10.3万里+1.6万里=11.9万里

冬至太阳轨道半径10.3万里+13.5万里=23.8万里

对于上述数字,我们仅讨论一点,即"千里一寸"这一任意无根据的非科学假设,对圭表测量以及中国古代天文学的影响。

"千里一寸"这一提法,在早期以在阳城测影来确定历法的工作中,并没有什么影响。其原因是:①从实际观测来说:各个节气的影长都取阳城的观测为标准。周以后各朝代国都的纬度也都与阳城相差不大。同一节气的影长与阳城的略有不同。同一节气南北不同处影长是不同的,未做定量测定前接受千里一寸的概念,亦暂可相安。因为不同季节、节气的影长只要同一地点的相对数值即可。②东汉末,三国时的吴、蜀其国都的圭影长度,因与阳城纬度相差较大些,但连年战争,可能无暇顾及。③在传统思想上,因《考灵曜》、《周髀》、《灵宪》及郑玄注《周礼》等经典著作及先儒并云"日影于地,千里而差一寸",囿于"法祖"的思想难于打破旧框框。④涉及对大地形状的认识。中国古代的这种认识是以盖天说和浑天说两种宇宙论为理论基础的。盖天说对大地形状的认识,虽云"地如复盘",但在具体处理时还是把地当作平面来对待。浑天说对天的形状的认识,虽与盖天说不同,但对大地的认识,也还是当作平面或最多当作一个下部是半个圆球的圆面来处理。不自觉地采用了圭表测影中千里差一寸的概念,并沿用下来。





"千里一寸"的非科学概念的动摇,始于南朝何承天,因为交、爱两州(今越南境内),夏至时表北无影,而相距(阳城)南北不及万里,而提出的。以后隋刘焯又据此系统阐述并提出做南北距离测量,以核定是否千里一寸。惜均未能进行实测检验。

直到刘焯后约120年,唐僧一行由于编历工作需要,与南宫说于开元十二年(724)进行了测定滑州白马(今河南滑县)、汴州浚仪(今河南开封)、许州扶沟(今河南扶沟)及蔡州上蔡(今河南上蔡)四点间的距离测量,及北极出地(纬度)、圭表影长的子午线弧度测量才从数值上通过实际测量推翻了千里一寸的错误概念。

由于是否千里一寸,对编制历法没有直接关系,这一认识仅限于此。即使如《新唐书·天文志一》中所载:"开元十二年(724)测交州,夏至……使者大相元太



言:交州望极,才高二十余度。八月海中望老人星下列星粲然,明大者甚众,古所未识,乃浑天家认为常没地中者也。大率去南极二十度已上之星则见。"这些观测现象若加以进一步研究,已可认识地球球形。但却未再进一步。直到明末西洋传教士利玛窦来华,带来了地球球形的科学知识以前,中国在天文学上未发现地球球形,在地理制图学上也一直把大地当作平面来处理。

这一漫长的认识停滞,其客观原因之一,未始不可以说是由盖天、浑天论为主导的,长期以圭表测影确定历法中节气的影响。

## 第四节　郭守敬的四丈高表与景符

在圭表测景工作中作出突破性改革的是元郭守敬的四丈高表与景符。在编制历法测定节气等工作中,欲提高表影的量测精确度,增加表高可以使影长相应增长,如此则可减少量测影长的相对误差。但表高影长,则会造成因太阳光源不是一个点源,而致表的半影造成影像模糊,即"表高则影虚而淡",使得提高表的高度起不了作用。郭守敬利用小孔成像原理,将高表顶端的横梁及日影投射在圭面上十分清晰,从而可以精确量测太阳中心的影长。高表配以景符的应用,使得圭表测日影的精确度大为提高,达到历史上的最高水平。

《元史·郭守敬传》:"至元十二年(1275)江左既平,帝思用其言(刘秉忠修历建议)遂以守敬与王恂率南北日官分掌测验推步于下……守敬首言,历之本在于测验,而测验之器莫先仪表,今……表石年深亦复欹测。守敬……创作简仪高表,用相比覆……表高影虚,固象非真作景符。"元开国以前郭守敬已研制成了高表景符,并在至元十三年开始以高表景符测量作为编历的数据。《元史历志一·授时历议上·验气中》就记载有至元十四年十一月十四日己亥,影长7丈9尺4寸8分5厘5毫,即79.485 5尺,据此记载的小数点后位数,可知已用高表景符进行观测了。对比皇祐时用周琮等人新制的八尺皇祐铜表所得影长数据,《宋史·律历志九·皇祐圭表》:"(皇祐)二年庚寅十一月十五日戊戌,新表测景长一丈二尺四寸五分半",分后的半还是估读数字。郭守敬所测影长,末位亦为估读数:两者相较,读的有效数字位数提高了10倍。




至元十六年(1279),元建国后,在大都以外的5处地方,以高表做天文观测。《元史世祖本纪》:"至元十六年二月癸未,太史令王恂等言建司天台于大都,仪象圭表,皆铜为之。宜增铜表至四十尺,则景长而真。又请上都洛阳等五处分置仪表,各选监候宫。从之。"可见40尺高表及景符,从开始时不久,就在全国多处同时使用。

高表结构，据《元史·天文志一》圭表："圭表以石为之，长一百二十八尺，广四尺五寸，厚一尺四寸。座高二尺六寸。南北两端为池，圆径一尺五寸，深二寸，自表南一尺，与表梁中心上下相值。外一百二十尺，中心广四寸，两旁各一寸，画为尺寸分，以达北端。两旁相去一寸为水渠，深广各一寸，与南北两池相灌通以取平。"这是圭的情况，其义甚明。表则为"表长五十尺，广二尺四寸，厚减广之半，值于圭之南端圭石座中，入地及座中一丈四尺，上高三十六尺。其端两旁为二龙，半身附表上擎横梁，自梁心至表颠四尺，下属圭面，共为四十尺。梁长六尺，径三寸，上为水渠以取平。两端及中腰各为横窍，径二分，横贯以铁，长五寸，系线合于中，悬锤取正，且防倾垫。"表高出圭面 40 尺，是所谓的 40 尺高表。但它不像以前的表那样，从底到顶是一实心的板块，而是分两部分：圭面下及植于地下的 14 尺，圭面上 36 尺这是一部分；在 36 尺的表顶的东西两侧有两条装饰性的龙擎——东西方向的横梁，这条 6 尺长的水平横梁，径为 3 寸，它的沿长度的中心线，到 36 尺表的顶部为 4 尺，这是第二部分，合共 40 尺(从圭面到梁的上缘为 40 尺 1 寸半)。为保证横梁水平，它的顶端有东西方向水渠；另在东西两端及中腰伸出长 5 寸的铁条，可以挂垂线，以测定整个表体在东西、南北方向的倾斜，以使它在安装时处于正确位置，及在观测前复测量是否有误。因圭表测影主要是测表顶的影长，40 尺高表就是测横梁中线在圭上的投影。用悬空横梁，是配合景符小孔成像原理而设计的，这是 40 尺高表的特点。

景符虽是圭表的辅助设备，但却是关键设备，没有景符就没有高精度的高表测影。为此，《元史·天文志》特立专条介绍："景符之制，以铜叶，博二寸，长加博之二，中穿一窍，若针芥然。以方匡为趺，一端设为机轴，令可开阖，楮其一端，使其势斜倚，北高南下，往来迁就于虚梁之中。窍达日光，仅如米许，隐然见横梁于其中。旧法对表端测晷，所得者日体上边之景。今以横梁取之，实得中景，不容有毫米之差"。



景符构造十分简单，就是一片钻有针芥小孔的薄铜片。置于一小框架内，可以调正薄铜片的方向，使铜片面与阳光正交。工作过程是把景符沿圭面南北方向移动，使太阳、横梁、景符面上的小孔三者成一直线，同时使景符面与阳光正交。此时在圭面上，可以看到一个米粒大小的太阳的图像，中间横贯一条细长清晰的横梁影像，这就是物理学上小孔成像现象。这条横梁影像，就是太阳视圆面中心，对表顶(即横梁中心)的投影。而过去测得的是太阳上边缘的影长，相差一个太阳的视半径。笔者曾用仿制景符在河南登封观星台元高表圭面上做过实测，欲使成像达到横梁影像穿过米粒大小的日影中心，景符在南北方向上的位置对其十分灵敏，相差 1～2 毫米就达不到要求(横梁影像就不穿过日影中心，在圭面上即偏南或北)，由



此可知用景符测量的精确度，可以达到1～2毫米量级。

圭面上长度的分划刻度，以前为每寸一分划，高表圭面则在每寸中分为5个分划，每分划间距为2分。

郭守敬的高表景符观测精度比以前大为提高，以后明、清两代俱仿制使用，已述不赘。今河南省登封县告城镇的古观象台内，尚保存有一座郭守敬建立的高表，表圭基本完整。

## 第五节　日　晷

圭表的功用之一为以日影确定时刻和时间。漏刻章中已述早期的太阳方位计时制。

史籍中最早记载以表配合漏刻定时的是《史记·司马穰苴传》："与(监军)庄贾约曰：旦日日中会于军门。穰苴先驰至军，立表下漏待贾……日中而贾不至，穰苴则仆表决漏。"司马穰苴与庄贾约定的时刻是日中即中午，中午时刻以圭表测定日影在南北(子午)线上即可确定，故立表即可。应用漏刻不是必要措施，也许是计量先驰至军到中午的时间，亦可计量中午后直到庄贾迟到时的时间。用圭表日影，测量正午前后，其他瞬间的时刻，需要根据太阳的投影方位。

清光绪二十三年(1897)在内蒙古呼和浩特市南托克托和1932年在洛阳金村各出土一具西汉日晷。两者皆为方形，石灰石质，型制相同。仅一面有刻度，中心有小圆孔，外有两同心圆，圆周的2/3均分为相等的等份，每等份为圆周的1/100。各辐射线与外圆的交点为小圆窝。在外圆外边依次标出1～69的数码。它的十字写成十，七字写成十，为西汉的书写法(见图11－6)。邓之诚《骨董琐记全编》汉玉日晷"汉玉日晷。光绪初归化出土"，"玉正方，得汉尺1尺。中刻线端各系数目。始于一数，以至九十"(应为1至70)。内蒙古出土者现藏北京中国历史博物馆；金村出土者，早年流失国外，现藏加拿大多伦多博物院。




这种有分划的晷，功能可能为：①以太阳影像测定时刻的日晷。因为圆周70个刻度，系全圆周的70/100，即全圆分为100等份，相应于一天中的百刻，取70刻是中纬度地方，夏季昼长，包括日出日没前后的晨昏蒙影各3刻。②可能是测定方位的天文仪器。中心小圆孔可能是用以插入一根与板面正交的小杆作为表，圆周小窝则用来标定观测太阳影像。如作为测定时刻的日晷，那么由于分划均匀，它应是赤道式的，即观测时将石板平面置于天赤道平面内，将盘面中心的十字线对准东西及南北方向。在春分到秋分这半年，太阳赤纬为正值时，可以直接读取表的投影。而在秋分至春分这半年，太阳赤纬为负值时需将其反转定向后使用，比较麻

烦。它们究竟是不是日晷还有待将来得到资料，做进一步的研究。这是我们所见，可能是日晷的最古老的实物。

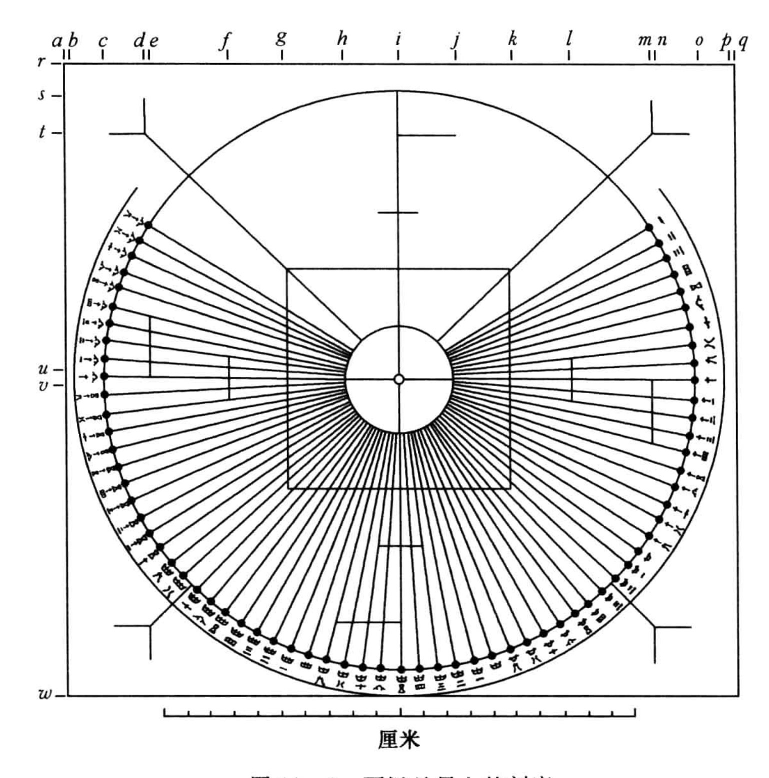



图 11－6　西汉日晷上的刻度



日晷的定义是根据太阳对表在盘面上的投影方向，来确定时刻的仪器，读得的是地方视太阳时。晷，就其本来意义解释为“日影也”，天文、律历志中说的日晷系指在某个节、气时的表影长度。后来则把晷指以日影测定时刻的仪器。应用日晷，可从表影直接读取时刻；而使用不带角度分划的晷面的圭表，则只能测定正午时刻用以校正漏刻，配合漏刻的使用才能得到中午以外，其他瞬间的时刻。日晷，只能在有阳光时给出时刻。

日晷出现于什么年代，无史可考。《汉书·律历志上》述及武帝元封七年（前104）议造汉历，“乃定东西，立晷仪，下漏刻，以追二十八宿相距于四方，举终以定朔晦分至躔离弦望”。此处的仪指仪象，漏刻更是明确，而晷是否指日晷，李约瑟在《中国科学技术史》第 20 章中，做了讨论，无明确结论。要从日晷是否能对制历有用考虑，日晷的表影，只用来测定由太阳视周日运动的位置——影的方向，而得不到太阳周年运动的位置。因而此处晷系指圭表，或晷仪两字合指能测日影（晷）的圭表及浑仪。




史籍中最早记载日晷的是《隋书·天文志上》漏刻中的"至开皇十四年(594)，鄜州司马袁充上晷影漏刻。以短影平仪，均布十二辰，立表，随日影所指辰刻，以验漏水之节。十二辰刻，互有多少，时正前后，刻亦不同"。

袁充的短影平仪，是一具地平式日晷。而他却是将日晷晷面"均布十二辰"，因而每个时辰所包含的刻度不同。《隋书·天文志》中给出他对冬至，两分，夏至每一时辰所含的刻数，这是因为时刻计量应以赤道为准，却划刻在地平上，而致的差异；使一日中地平上不同时辰表示的刻数不同，同一时辰的刻数在不同日期(节、气)时也不同。(上述"时辰"实即在地平面上，某一方位范围)这种日晷当然不能使用。其后他被认为"袁充素不晓浑天黄道去极之数，苟役私智，变改旧章。其于施用，未为精密"，此后地平式日晷直到明末以前未有发展。

袁充的错误在于不知时角不是在地平上量测的，这种认识，在浑仪的结构上也同样有表现。直到北宋周琮等人制造的皇祐浑仪，才把百刻刻度，置于天常(赤道)上，而在此以前则都是刻在地平环规上的。而在计时工作中，则用中午太阳或夜半中星校正漏刻，而使均匀行定的漏刻给出均匀划分的百刻时。

## 第六节　宋代日晷

南宋《独醒杂志》载："(曾)南仲尝谓古人揆景之法，载之经传杂说者不一；然上皆较景之短长，实与刻漏未尝相应也。其在豫章为晷景图，以木为规，四分其广而杀其一，状如缺月，书辰刻于其旁，为基以荐之，缺上而圆下，南高而北低。当规之中，值针以为表。表之两端一指北极一指南极。春分以后视北极之表，秋分以后视南极之表。所得晷影与漏刻相应。自负此图以为得古人所未知。予尝以其制为之。其最异者，二分之日，南北之表皆无景，独其侧有景，以其侧应赤道。春分以后日入赤道内，秋分以后日出赤道外，二分日行赤道，故南北皆无景也。其制作穷赜如此。"《独醒杂志》系宋曾敏行撰[①]。曾南仲为敏行父辈。




这是描叙赤道式日晷，迄今找到的最早的记载。由文，十分明确为一赤道式日晷。但曾氏之前是否已有，尚不能由"自负此图以为得古人所未知"而判断为其创制。而从明嘉靖编安徽《宁国府志》卷四：宋绍定(1228—1233)，郡守王铎自作《晷漏铭》并序略："皇帝即位十九年，岁在壬寅，九月庚辰朔，宁国重修晷漏成。先是唐大中五年，宣帅沈传师命团练判官杜牧，以梅为秤……至是命长乐林可大，新作晷

① 清阮葵生：《茶余客话》"朝庙衙署庭中设石表，以觇时刻，不识适自何时。按宋曾南仲，通天文，宣和(1119—1125)进士，授南昌县尉。尝谓古人揆景之法，载之经传不一；止较景之长短，未与刻漏相应，乃为晷景图。"

漏……悉如故智……设土圭，春视其面，秋睨其背，以二分为断，盖一行遗法……”又作《日晷铭》曰：“霜刃割云根，分明一团镜，不独倾太阳，亦以定斜正。”有宋一代，皇帝即位19年又岁在壬寅者，指南宋孝宗淳熙九年(1182)。据“春视其面，秋睨其背”可知为一赤道式日晷。

赤道式日晷在南宋时已较普及。

## 第七节　早期日晷发展的问题

科学的能正确测定真太阳时的日晷——赤道式日晷的发生发展到定型，是日晷史的一个重要问题。

将晷面置于与天赤道平行的位置，晷针的投影才能正确指出真太阳时，晷面的分划也才可以采用等分方法。晷面水平安放的地平式日晷，在每个单元时间间隔中，晷影轨迹的角度变化是不均匀的。这只有认识到时角变化需在赤道上量度这一规律后，才能产生赤道式日晷。同样是天文仪器的浑仪，直到宋皇祐(1049—1053)初，于渊、周琮制造的皇祐新浑仪上，才把百刻分划刻在赤道环上，而不是像以前那样刻在地平环上。可以认为此前不久才认识到这个问题。

有记载的确实可靠的赤道式日晷是曾南仲创作，而记录在他侄子曾敏行(1117—1175)的《独醒杂志》中。曾南仲的赤道式日晷约产生于公元1175年前，距皇祐浑仪已有百年左右。

梅文鼎在《勿庵历算书目》日晷备考中说：“吾郡日晷依赤道斜安，实为唐制。”梅氏为一代天文大家，所言应是有所据的，但由于缺少文献，尚待进一步研究。



1976年7月，在西安发现了一具日晷，系石质，直径33厘米，厚4.5厘米，晷盘正面由中心刻有12条均匀射线，将直径27.5厘米、17.7厘米两个同心圆分为12格。每格中依次刻有子、丑、寅、卯……戌、亥等十二支。中心有一圆孔，近午的圆盘一方有一长耳，长耳中有一横(与晷面平行)圆孔。背面则在于长耳正交的圆直径方向上，有13个孔，每孔间距1.4厘米。圆孔两旁分别以楷书刻有二十四节气名称。

初步认为这是一具日晷的晷面，其年代在唐(720)之前或至少在曾敏行(1176)以前。[①]

由于古代日晷不属正式天文仪器，缺乏记载，亦无出土及传世，除西汉日晷外，几乎没有什么实物。赤道式日晷产生年代从南宋向上推的研究尚待继续。可以认

---

① 白尚恕：《小雁塔日晷初探》，《北京师范大学学报》，自然科学版，1987年，第2期。



为即使浑仪那种正规的大型天文仪器，百刻时间刻度尚一直错刻于地平环规上，那么日晷开始时更会具有这种可能。

## 第八节　元代日晷

### 一、西域仪象中的两件仪器

元世祖至元四年(1267)，西域天文学家札马鲁丁造西域仪象七件。其中两件有日晷之名。

#### (一)鲁哈麻亦渺凹只，汉译春秋分晷影堂

《元史天文志上》西域仪象记载了它的结构："为屋二间，脊开东西横罅，以斜通日晷。中有台，随晷影南高北下，上仰置半环，刻天度一百八十，以准地上之半天，斜倚锐首铜尺，长六尺，阔一寸六分，上结半环之中，下加半环之上，可以往来窥运，侧望漏屋晷影，验度数以定春秋二分。"在密封而仅东西方向屋脊开缝的房中，房内有一与赤道平面平行的台，台上斜置一个铜的半圆环规(与台面平行)。贴着圆环规有一根6尺长的铜尺，一头结在半圆心，一头可在半圆环上移动。当春、秋分时，阳光直射半环规的直径方向，可得春、秋分时刻。由于原文过于简略，故做上述描叙。

它用来测定春秋分的时刻，此时太阳赤纬为零度，照射方向恰与半环规平行，铜尺可能作为瞄准器，此时可从铜尺活动一端在环面上所指的刻度，读得时刻，即春秋分时刻。




如果这样，那么半环平面必须装置得与天赤道完全平行，在安装调试时有很大难度。当铜尺瞄准器中能观测到太阳，此时即为春、秋分。它只能测春、秋分时刻，其他时间的时刻则不能测定。称它春秋分晷影堂是对的，但称之为日晷则不够确切，充其量它只是一具能测两个时刻(春分、秋分)的特殊日晷。

#### (二)鲁哈麻亦木思塔余，汉译冬夏至晷影堂

它的构造是"为屋五间，屋下为坎，深二丈二尺，脊开南北一罅，以直通日晷。随罅立壁，附壁悬铜尺，长一丈六寸。壁仰画天度半规，其尺亦可往来规运，直望漏屋晷影，以定冬夏二至"。在5间那么大的屋内，挖一2丈2尺深坑，屋脊南北方向开缝。平行于缝立一壁，壁上悬一铜尺，长1丈6寸，在壁上朝天画一半圆规，上有分划度，尺绕此规中心可转动(半圆规及尺具在子午面内)。观测太阳中的赤纬值，

可从壁上环视分划上读出。这就需配合漏刻及计算才能得到冬夏至时刻。因太阳中天时,不一定是两至时刻。作为日晷的意义就连春秋分晷影堂那一点都没有了。它只是个圭表,不用直尺量,而由测角来达到。

## 二、郭守敬的仰仪

它是一个形如锅釜的半球内壁,仰置于砖台内,壁面画周天度数,釜沿划分12方位(图11—7)。《元史·天文志上》仰仪:“仰仪之制,以铜为之,形如釜,置于砖台。内画周天度,唇列十二辰位。盖俯视验天者也。”

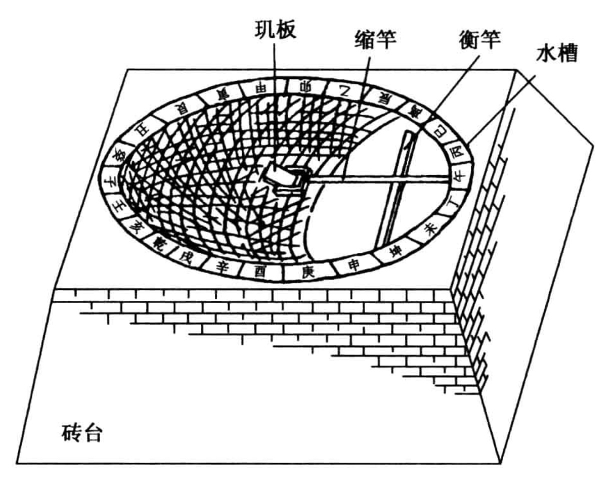



图11—7 仰仪示意图

更详细的尺寸、结构则在紧接上面原文后天文志引载的《仰仪铭》中给出。





仰仪是郭守敬创作的重要天文仪器之一,元史天文志中记载了郭守敬的7件天文仪器(包括附件),它是次于简仪、高表的第三件天文测量仪器。除铭辞外,其他直接资料难于找到。现将铭文全文引于下:

不可体形,莫天大也。无竞维人,仰釜载也。
六尺为深,广自倍也。兼深广倍,絜釜兑也。
环凿为沼,准以溉也。辨方正位,曰子卦也。
衡缩度中,平斜再也。斜起南极,平釜镦也。
小大必周,入地画也。始周浸断,浸极外也。
极入地深,四十太也。北九十一,赤道龂也。
列刻五十,六时配也。衡竿加卦,巽坤内也。
以负缩竿,子午对也。首旋玑板,窾纳芥也。
上下悬直,与镦会也。视日透光,何度在也。



暘谷朝宾，夕饯昧也。寒暑发敛，验进退也。
薄蚀起自，鉴生杀也。以避赫曦，夺目害也。
南北之偏，亦可概也。极浅十五，林邑界也。
黄道夏高，人所载也。夏永冬短，犹少差也。
深五十奇，铁勒塞也。黄道浸平，冬昼晦也。
夏则不没，永短最也。安浑宣夜，昕穹盖也。
六天之书，言殊话也。一仪一揆，孰善悖也。
以指为告，无烦喙也。阐资以明，疑者沛也。
智者是之，膠者怪也。古今巧历，不忆辈也。
非让不为，思不逮也。将窥天朕，造化爱也。
其有俊明，昭圣代也。泰山砺乎，河如带也。
黄金不磨，悠久赖也。鬼神禁诃，勿铭坏也。

采铭文中句子简释。清梅瑴成校辑，梅文鼎《梅氏丛书辑要》卷六十，《二仪铭补注》条可资参考，梅氏认为元史天文志中简仪记载明晰，而未录铭辞，而“仰仪则仅石铭辞，而弗详制度，盖以铭中弗啻详之也”。铭文是介绍仰仪结构的主要资料。从铭文可描叙它的结构：

深 6 尺（半径），上口宽（直径）12 尺，深的 2 倍与广的 2 倍之和为圆周（即 3 倍直径）；釜口周围为水渠作定平之用，釜口外的面均列 24 方位，从子算起。仰仪内表面刻画的赤经赤纬细线，与天球上的对称（南极即为天北极），南（北）纬圈标为北（南）纬圈，放置地点为纬度 40 $\frac{2}{3}$度。它还有地平坐标系刻度。仰仪仅只刻画一半赤道，所以上刻半圆内的 50 刻时刻，在釜口的正对釜内北天极的那边，放进两根正正交的竿，南北方向的竿（缩竿）伸到半圆球中心，东西向的竿（衡竿）架住南北竿使南北竿稳固，缩竿位在子午面内，其端有一璇玑板，板中心开一如芥子大的细孔，孔居仰仪球心，板可东西、南北方向转动。观测太阳时，使板面正对阳光，太阳影像即投射在仰仪内面的经、纬格线上，可以直接读出坐标值。观测日食，避免眼睛直接对阳光的眩目与伤目，并可直接得到日食各过程的时刻和方位等值。

元史天文志在介绍天文仪器时，在简仪后即为仰仪，列为重要仪器。清天文学家梅文鼎著的《二仪铭补注》是研究仰仪的重要文献。伊世同先生是现今对仰仪的研究，投入较大精力并有所见解的学者。

由于这仪器的功能简便，将其制成小型便携式就有必要和可能。李约瑟则报道 18 世纪朝鲜人可能是从北京带回的一个小型仰釜日晷和一个 1810 年制的小型日本仰釜日晷。1884 年，北京亦发现一个象牙制的微型仰釜日晷，其适用纬度为




37°39′15″(朝鲜汉城)，据伊世同推算制作年代为1762年。①

## 第九节 明末及清代的晷仪

### 一、晷仪

晷仪一直是中国古代天文观测在圭表、浑仪以外，被列入次要的天文仪器。元郭守敬的仰仪制成后改变了这种状况。

明末西方传教士来华引入了许多新的天文知识，其中星盘的构造和使用是其中之一，1583年利玛窦带来的知识中就有星晷。以后李之藻著的《浑盖通宪图说》，就是他向利玛窦学习后介绍星盘的书。徐光启评的《简平仪说》，介绍了传教士熊三拔制作的简平仪内容。周子愚、卓尔康记录的熊三拔作的《表度说》则是介绍日晷的著作。这些著作出现于17世纪初的15年中。

随后陆仲玉于17世纪20年代著的《日月星晷式》中则详细地介绍了各种型式的日晷。

上述情况发生在明王朝即将覆亡之时。

入清后，西洋传教士仍长期掌握着钦天监的技术大权，他们的影响还是很大的。如清制的几件大型天文仪器都是由传教士制造的。

清代著名天文学家梅文鼎(1633—1721)的《日晷备考》是最早介绍西洋日晷的著作，但未刊行。② 后来徐朝俊于嘉庆十三年(1808)著的《日晷图法》，嘉庆二十一年(1816)，刘衡的《尺算日晷新仪》都对日晷做法做了介绍。

日晷，晷仪由于体积小，相对易于制作，因此在民间易于普及。但在正式的天文观测中，我们认为明末徐光启在编历的天文观测中，则是给予了相当重视的。

徐光启在崇祯二年七月(1629)在《条议历法修正岁差疏》中提到急用的仪象十事中提到要造“七政象限大仪六座”、“列宿纪限大仪三座”、“平浑悬仪三架”、“节气时刻平面日晷三具”、“节气时刻转盘星晷三具”等。前面三种还不属晷仪，姑不论，但已不是中国传统经典仪器了。后两种日晷及星晷则已被提到编历使用的正式仪器之列了。当然，此时因战争，国库紧张，造不起大仪器，尽量使用小仪器，也是一个原因，但至少它们是能起作用的。

以后直到他去世的五六年中，他在有关治历的奏疏中多次提到晷仪的使用。如崇祯三年十月(1630)在《月食回奏疏》中提到“于今十月十六日夜望卒同监督司



---

① 伊世同:《仰釜日晷和仰仪》,《自然科学史研究》1986年,第5卷,第1期。

② 《中国天文学史》,科学出版社,1981年,第835页。



官……到台测验，臣用新造候时新晷一具，逐时逐刻测候”。崇祯三年十一月《测候月食奉旨回奏疏》更是多次说到晷仪："于本台日晷简仪立运仪正方案上，较定本地子午真线"，"据法当制造如式日晷，以定昼时；造星晷，以定夜时"，"定时之法当议者五事……五曰晷者……平面日晷……赤道晷，此二晷者，皆可得天正时刻，所谓昼测日也。若测星之晷……故用重盘星晷，上盘书时刻，下盘书节气……测知天正时刻，所谓夜测星也"。崇祯四年四月，在《月食推算里差疏》中说"臣等用近来所教习历科官生及知历人等在台用星晷测紫微垣二星……"。崇祯五年十月《月食先后各法不同缘由及测验二法疏》："若日晷、星晷、窥筩三器者，局中所用体制甚小……则模式应加广长，赋列应加精瞻"。"其验之，则测日有平晷新法，测星有立晷新法，皆袭石范铜，镜画数度节气时刻，一一分明，以之较论交食，皆于本晷之上，某时某刻，先期注定，至时微验，是合是离，灼然易见，此定时法也"。

于此可见，晷仪确是已成为国家天文观测中不可缺少的仪器。

## 二、星晷和月晷

元代天文学家札马鲁丁制造的西域仪象中有一件"兀速都儿剌不定"，汉译为昼夜时刻之器，就是一种能观测太阳和恒星的星晷。元郭守敬制造的星晷定时仪，"天有赤道，轮以当之，两极低昂，标以指之，作星晷定时仪"。也是星晷。这些大约来源于阿拉伯。

后来西洋传教士自利玛窦、熊三拔等都带来及介绍了西洋晷仪。徐光启在修历的观测工作中也把晷仪作为一种不可缺少的天文仪器来使用。

星晷是一种双重盘面的观测仪器，观测北天极附近的帝星与勾陈来确定时刻。根据一年不同日期它们的不同位置就可知道时刻。因此星晷就必须具有能随季节而调节其位置的结构，即调正内、外两盘的相对位置。使外盘上的初始标志(子正初刻)与内盘上表示当时节气的标志重合，就能使两盘与太阳在恒星间的相对位置对应。瞄准设备是外盘中间的夹缝。这就是《明史·天文志》说的："星晷者，冶铜为柱，上安重盘。内盘镌周天度数，列十二宫以分节气。外盘镌列时刻，中横刻一缝，用以窥星。"这种结构原理和观测方法，精度肯定不高，也许只能达到1刻左右。





月晷也是重盘型式，将两盘通过相对转动，调整到朔望月的相应日期的位置。通过观测月亮在天空中位置来确定时刻，这当然只能是很粗略的时刻。只可作为民间使用。

清徐朝俊在所著的《高厚蒙求》中介绍了星晷和月晷的结构原理和使用方法。

清代宫廷中收藏的星晷属此。

## 三、墙面东西日晷

清中叶后，日晷之制作研究渐趋普及，尤其是在民间。因为它与漏刻相比简单直接，除了天阴无阳光时不能应用外，随时到处可以应用。使用漏刻则还需应用日晷来校正。其实早在明代，在天文工作以外，也已广泛应用于日常计时。如《明会典·兵部三十二·急递铺》："每铺设十二时日晷一个，以验时刻。"急递铺即驿站，是古代传送文书的重要组织，对于限定时刻递送的紧急文书军务急报，没有一个时刻标准是不行的，而急递铺往往远离城镇，这时简便易行的日晷就起了作用。

清嘉庆年间的齐彦槐，曾是进士后官苏州府同知，精于天文，引疾去官专事天文研究。精习西法天算，著有《天球浅说》、《中星仪说》、《北极经纬度分表》等，于嘉庆二十四年(1819)按西法原理制作过一具面东西日晷或称东西平面日晷。他的好友张作楠，官府学教授，江苏阳湖县(今属武进县)知县，徐州府知府，亦"生平酷嗜西人历算之学"，以致任官时不事酬应而是养了工匠制作仪器。著有《翠微山房算学丛书》、《揣籥小录》等书。在《揣籥小录》中，除了介绍日晷做法外，还附有"北极经纬度分全表"、"各节气距纬正切线表"等表，以供不同地方制作和使用日晷之用。他根据齐彦槐的日晷加以改进，制作了面东西日晷。此晷原物几经沧桑，后置于常州市天宁寺内，已成残片。上海天文台全和钧、郭盛炽等于20世纪80年代协助该寺，按原式重新设计计算，重立。现陈列于江苏省常州市天宁寺大殿前。用以测定时刻节气等十分方便精确。

这是一具有近200年历史传世至今的日晷，国内尚不多见。该晷之侧面有"常州府偏京师东三度二十四分，北极出地三十一度五十一分强，兹测得冬至午正太阳高弧三十四度三十九分。夏至午正高弧八十一度三十七分，推经纬景线作横表面东西日晷以便民用。嘉庆二十五年，知县张作楠立"等字样。







# 第十二章 漏 刻

漏刻是古代天文仪器中的主要计时仪器。漏，指漏壶，刻指刻箭，漏刻由这两部分主要部件构成。漏壶为置水的容器，水可从壶下部的小孔中逐渐缓慢流出，也可从一把壶流至放置在较低位置的另一把壶中；前一情况，壶中水位逐渐下降，后一情况下面那把壶的水位逐步上升。刻箭为刻有分划竖直放置的标杆，将刻箭放在漏壶中，可以测量水位的升降，用来计量时间。

## 第一节 时间及其测量

时间与空间是物质存在的基本形式。任何物质的运动、变化或发展过程，都是在时间和空间内发生的。人类一切的活动都离不开时间和空间。时间测量在科学和日常生活中都非常重要。

通常说时间，包含既有差别又有联系的两个内容，即时间间距和时刻。

时间间距指客观物质运动或变化的两个不同状态之间所经历的时间历程；时刻则是指客观物质在某一种运动变化状态的瞬间，通常以离开时间坐标轴原点的距离来表示。

客观物质的运动和发展过程形式多样，差异极大。如天体的年龄以数十亿、百亿年计，而有文字记载的人类历史为数千年，某些基本粒子的寿命则只有百万分之一秒甚或更短。由于种种时间间距的不同，测量时间所用的方法亦各不相同。如根据天体的质量，能量损耗速度来测算其寿命，可以测量数百万到数百亿年的时间间距。应用放射性元素衰变法来测量地球年龄，岩石形成时间和各地质时期的年龄。根据古生物的生理节律（由它们生活时期的生理特征在骨骼、外壳的外部形态和内部构造上形成的图案花纹来表现），对照现代同一生物的生理节律，以推断古生物时代的时间记录。而以原子或分子的量子跃迁周期导出的原子时尺度，则可以测量到一亿分之一秒数量级的时间。

古代天文学的主要研究内容之一是历法的制度，对于时间来说也就是对日、月、年和世纪这一数量范围内的时间测定和安排。年是地球绕日公转周期，日是地球绕轴自转周期，月——历法中用的根据月相周期的朔望月——则是以月绕地球运转周期为基础的。由于这三者的周期没有整数公约因子，使四季、月相、昼夜这




些与人们生活密切相关的自然规律协调，这就是历法的工作目的。例如：地球公转周期回归年的长度为365.242 2平太阳日，如果不以历法来调节，那么每4年累计的1日，将使寒暑的到来日期逐渐移动到不同的月、日，非常不便。

以地球自转周期为基础的时间——日，它经历的时间间距也还太长，对于天文学和日常生活的使用还不够细。将一天再作分划，在古代，划分为百刻、十二时辰，现代，划分为时、分、秒，对于这一数量的时间和时刻的测定、计量则是与漏刻有关的内容。

## 第二节　日和时的单位

### 一、日的单位

日是天文学上时间的基本单位。一般来说昼夜交替这一自然现象，自古以来一直是人们生活和生产所使用的基本时间单位，“日出而作，日入而息”，在科学、文明还很低的阶段，日光是人们作息的基本因素。

阳光的出没是地球绕本身轴线自转造成的，地球不停地自西向东自转，造成太阳不停地自东向西做周日视运动，地球在自转的同时，还绕日做公转运动，因而使得每天的时间间距比地球自转一周的时间要长，长的时间约等于地球自转1°的时间。因为一天中地球已不在公转轨道的原处而是向东行进了约1°，地球自转需再转过这一角度才能使地面上同一地点对向太阳。又因为地球自转的轨道平面黄道与地球的赤道相交成一约23°.5的角，地球的公转速度不均匀，使得太阳连续两次中天所经历的时间长度不同，一年中最长和最短的真太阳日约差51秒。天文学中是取平太阳日作为日的长度，即假想有一天体在天球赤道上做匀速运动，这速度等于太阳在黄道上运行的平均速度。平太阳日长度的准确性，取决于地球自转速度的准确性及对上述关系的掌握，以平太阳日为基础的时间标准一直使用到20世纪50年代。



### 二、时间及其单位

时刻在计算学范畴来说，系指从一天开始瞬间起经历了一定时间间距后的某一瞬间。如上午8时30分就是指从这一天0时开始，经历了8小时30分后的那一瞬间。真太阳时刻是指从真太阳下中天那一瞬间开始经历了某一时间间隔后的瞬间。真太阳时刻以太阳圆面中心对于该地子午圈的时角来量度，即真太阳的时角为该地的地方真太阳时。真太阳时和平太阳时可以通过换算而互得。



中国古代在天文学的测量精确度还不足够和对两种时间的理论还未掌握时，用的是真太阳时。真太阳时可由日晷直接读得。但在阴雨及夜间，日晷就无能为力了。计时仪器漏刻，就是人们长期应用的工具。从漏刻的刻箭上可以直接读到时刻。

日以下时间划分是人为的，中国古代，最早仅是将一天分为晨、昏，日、夜，随着人类文明和生产的进步，逐渐有了更细的划分。《隋书·天文志》记述古代的计时制度时说："昼有朝，有禺，有中，有晡，有夕，夜有甲乙丙丁戊，昏旦有星中[①]。"殷代称昼为日，夜为夕，又将昼分为明（黎明），日（清晨），中日（午），昃日（下午），昏（黄昏）等。《礼记》中出现的划分有：朝时、日中、夕时、鸡初鸣、昏明、大昕、晏朝、昏、日出、日侧、见日、逮日等。

我国在周以前，就已使用了把一天均匀分划100刻的百刻计时制，是世界上最早使用等间距计时制的国家。[②]

汉朝开始有百刻计时制的记载。开始时与自然特征计时法并用，《汉书·武五子昌邑王传》："夜漏未尽一刻，以火发书，其日中贺发，晡时至定陶。"《汉书·东方朔传》："微行以夜漏下十刻乃出。旦明入山下，驰射鹿豕狐兔。"

百刻计时制用于天文学上，一直到清中叶。但百刻数字大，民间使用究竟不便。梁天监六年(507)梁武帝首次以十二辰配合百刻[③]，可知当时将一天分划十二时辰的时辰制已趋成熟。[④] 一直使用到明末西洋钟表传入中国，开始使用一日24小时，每小时4刻，一天96刻的计时制，使用至今。

由于夜间活动较少，对时间的要求不高，中国古代在夜间还并用更筹制。以日出日没为准，加以晨昏蒙影改正，将一夜均分五更，每更再均分为五筹（点），这是根据不同季节昼夜长度不等的一种非等时性的时间标准。每个更点的长度及起迄时刻在不同纬度地方各不相同，在同一地方的不同日期亦不相同。但三更三点夜的中点则总在午夜，因为日落、日出时刻总是对称于子夜。




## 第三节 计时仪器的要求

### 一、计时仪器与时间标准

计时仪器不能作为时间标准。作为一种标准的条件是它必须是不变的（变化

① 《隋书·天文志上·漏刻》，见《历代天文律历等志汇编》，第564页。

② 阎林山，全和钧：《论我国的百刻计时制》，《自然科技史文集》，第6期。

③ 《隋唐·天文志上·漏刻》，见《历代天文律历等志汇编》，第565页。

④ 全和钧：《我国古代的时制》，《上海天文台年刊》，1982年。

非常微小），而人为的各种仪器设备从最初的漏刻到以后的机械摆钟石英时钟都难于满足这一要求。漏壶中水的黏滞系数随温度而变，壶和出水管的锈蚀微尘的阻塞，机械时钟中零部件在运行中的磨损，石英钟晶体及电子元件的老化等都会影响到计时的准确。因而不能用来作为时间标准。

地球的自转速度却非常均匀，它造成的天体的周日视运动日月星辰的东升西落绕天极运转易于观测到。因此自古以来一直作为人们时间的标准（直到20世纪以来才发现它的微小不均匀性，1967年才规定以原子时作为时间标准）。但因受气候阴晴的影响，不能时时做观测，计时仪器与之配合就能方便地提供给人们时间。即以天文观测尽可能多地校正计时仪器，而在需要时间时直接从计时仪器上读取。

这就要求精确地通过天文观测测定准确时刻，以校正计时仪器，这称为测时；计时仪器本身亦要求有足够的精度，以保持住能读取到准确时刻，这称为守时。没有精确的守时，即使在用天文观测校正了计时仪器后，到在计时仪器上读取时间之间，由于计时仪器的误差也得不到足够精确的时间。

## 二、计时仪器与天文学的关系

计时仪器的精确度如上所述取决于天文测时的精确度及本身的制作技术。而推动计时仪器进展的主要动力亦直接来源于天文学提出的要求。

在古代虽然随着社会生产和文明的提高对时间的要求逐步提高。但民用时间的要求在那时终究是不高的，因为技术与生产在那时的水平还提不出需要较高时间水平的要求。





天文学是我国古代长期居于领先地位的一门科学，它除了满足农业生产的需要从事历法工作外，还由于帝王对于自然现象的迷信而重视天象的观测。

天体的运动位置与观测时刻有关。某天体位于天球上的某一位置如果离开了当时的时刻就失去了意义。因而天文观测必须有与之相应的时刻。直到现今，高精度的时间依然是现代天体测量工作的主要要求。天文台必须配备高精度的天文时钟。高精度计时仪器的研究，时间标准工作的研究在许多国家里也主要是在天文台进行的。如，主管全世界时间的国际时间局设在巴黎天文台，我国的时间工作原由上海天文台现由陕西天文台承担。

我国古代的计时仪器——漏刻精度的提高也完全是在天文学的促进下获得的。

我国古代官方史籍“二十五史”中的天文、律历志中大多有漏刻一节，可见对它的重视。



## 第四节 漏刻概况

漏刻又称刻漏、壶漏、铜漏、铜壶滴漏，或简称漏，是我国古代的主要计时仪器，一直用到清末。除民用外，它还是天文测量的主要辅助仪器，受天文学发展的促进而发展。到宋代漏刻计时精度达到每天几秒钟的水平。直到机械时钟应用伽利略发现的摆作为控制器后才超过漏刻的计时精确度。

### 一、漏刻发展沿革

挈壶是中国古代漏刻的滥觞。因最早简单的漏壶上部有一提梁而称。《周礼·夏官司马》：挈壶氏"掌挈壶以令军井，挈辔以令舍，挈畚以令粮"。自周代设挈壶氏掌漏刻，后代因之。历代掌漏刻的官员，唐为五官挈壶正，宋辽元为挈壶正。明清为五官挈壶正。可见一致公认这一渊源。

周代挈壶的构造未留记载。《隋书·天文志·漏刻》："昔黄帝创观漏水，制器取则，以分昼夜。"漏刻——早期的挈壶的出现当远在周代以前。

漏刻的基本构造是一盛水而可漏出的容器及一支有分划可以量度水位的刻箭。西汉以前的漏刻为单壶型。1958 年陕西兴平茂陵附近出土的"兴平铜漏"，1968 年河北满城西汉中山靖王刘胜墓出土的"满城铜漏"，1976 年内蒙古自治区伊克昭盟杭锦旗出土的"千章铜漏"及 1977 年于山东巨野县出土的西汉昌邑王刘髆墓出土的"巨野铜漏"均为单壶型漏刻。文献记载的如宋薛尚功《历代钟鼎彝器款识法帖》卷十九记载附图的谭正制造的西汉漏刻亦为单壶型。





这里所说的单壶型是指没有补偿壶的漏刻。有两种型式：①只有一把泄水漏壶，②有两把壶，水从泄水壶中注入下面的一把受水壶。

为了便于读取水位，刻箭下部连着一个浮舟，水位变化时刻箭随着水位沉浮，而从箭上部穿过壶盖的孔处读取读数。只有一把泄水壶的漏刻称泄水型沉箭漏。具有两把壶的漏刻，刻箭置于下面一把壶中，称为浮箭漏。

单壶型的漏刻由于随着水位下降流速随之减低，水位的升降速度是不均匀的，因而刻箭上的分划间距也必然不是等分的，计量时间的精度不可能高。每昼夜的计时精度可能在 1 刻左右①。

东汉以后出现了有补偿壶的二级漏刻。《初学记》卷二十五描叙张衡的漏刻"以铜为器，再叠差置，实以清水，下各开孔。以玉虬吐漏水入两壶，左为夜，右为

① 全和钧，阎林山：《关于西汉漏刻的特点和刻箭的分划》，《自然科学史研究》1985 年第 4 卷，第 3 期。

昼”。这种漏刻可能由4把壶构成。共分三层两级，最高处为一把补偿壶，漏水注入下面的供水壶中，由供水壶再将漏水按照昼夜，分别注入第三层受水壶的昼壶或夜壶中。加了补偿壶的作用是使供水壶中的水量得到及时补充，减少水位的变化，从而使供水速度均匀。文中的“下各开孔”，说明至少有两把开孔的壶，只有具补偿壶的情况下才如此。晋代的记载中则出现了三级漏刻。《古今图书集成·历法典》卷九十九中引晋孙绰漏刻铭：“累筒三阶，积水成渊。”唐代则有四级漏刻，清王皓编《六经图定本·诗经》引杨甲《六经图》：唐太常博士吕才的漏刻“有四匮，一夜天池，二日天池，三平壶，四万分壶。又有水海，以水海浮箭”，“以次相注，入于水海，浮箭而上”。宋燕肃的莲花漏采取分水装置，把漏刻精确度发展到历史最高水平。分水装置是在供水壶的壶壁上方开一泄水孔，使自供水壶上方的补偿壶中下注的水的流量大于供水壶流入受水箭壶中的流量，多余的水即自泄水孔分流出去，保持供水壶水位稳定在泄水孔处，这样由供水壶流入箭壶的水量就很稳定了，从而提高了计时精确度。此后中国古代漏刻就再没有重要的改进。清乾隆十一年(1746)制的“交泰殿漏刻”和嘉庆四年(1799)制的皇极殿漏刻，这两具保存完整的最后的古代漏刻，属此型式。

漏刻在古代应用最早的具体记载见前引《史记·司马穰苴传》。用于天文的记载《隋书·天文志·漏刻》：“汉兴，张仓因循古制，犹多疏阔。及孝武定星历，下漏以追天度”。自汉唐以来自京城至各府州县都设有司报时辰更点的钟鼓楼。所用的计时工具即为漏刻。

## 二、漏刻的其他形式





### (一)以水为介质的漏刻

**1.铜乌漏刻**

以虹吸管作出水管的漏刻。渴乌(虹吸管)以铜制，故名。《魏书·张渊传》：“时有河间信都芳字王琳，好学善天文算数”，“又聚浑天、欹器、地动、铜乌漏刻”，“候风诸巧事”。这种铜乌在张衡制的漏刻中已提到。晚到清代制的漏刻亦安装铜乌。

**2.称水漏器**

把秤与漏刻的受水箭壶结合在一起，不用刻箭，而用秤称受水量来计时。

### (二)以沙、汞等为介质的漏刻

上述称水漏器亦有用汞代替水的称马上漏刻。沙漏则是把细砂从一容器流至



另一容器来计时。这都是携带式的计时器,也免于寒冷时水结冰通常漏刻不能运行而采取的方法。

### (三)金属弹丸作为下落物

有辊弹漏、碑漏、星丸漏等。

### (四)民用漏刻

**1. 盂漏**

为一底开针孔的铜盂,将其浮于水盆上,据沉入水中的时间以计时。莲花漏(非燕肃的莲花漏)也属盂漏。

**2. 几漏**

可放于几上及携带的小型漏刻。

**3. 田漏**

一种简易的单级漏刻,农家使用,宋代较普遍应用。

### (五)其他

**1. 漏水转浑象**

应用漏水还可以带动浑象。东汉张衡就制造了漏水转浑天仪,宋苏颂、韩公廉的"水运仪象台"都属此。仪器的动力为漏水,运转的精确度决定于漏水的均匀性。通过机械传动机构带动仪器运转及做敲钟击鼓等报时动作。

**2. 宫漏**

宫中使用的,装饰华丽,附有多种自动报时装置及定时显示木人、时辰牌的漏刻。元郭守敬制的"大明殿灯漏"是一种宫漏。

**3. 行漏辇**

作为皇帝出巡的礼器安排在仪仗队伍中。隋称行漏车,宋为行漏辇。

## 第五节 漏刻刻箭的使用

漏刻由漏壶(组)及刻箭两部分组成。

漏壶的结构如同钟表的机芯决定漏刻的精确度;刻箭的构造则如同钟表的钟面及指针用来指示时间。它的分划精度、读取的精度与漏刻的精度有关;而它按什么标准分划则与计时制度有关。尤其在一年中不同日期(按节气)的换箭制度亦与测时精度及计时精度有关。在讨论各种漏刻的漏壶结构、漏刻的精确度等基本问





题前有必要对刻箭的内容做必要的分析，它在各种漏刻中基本相同。刻箭按节气更换的原则是中国古代漏刻计时的一个特点。

## 一、刻箭的分划

### （一）百刻计时制

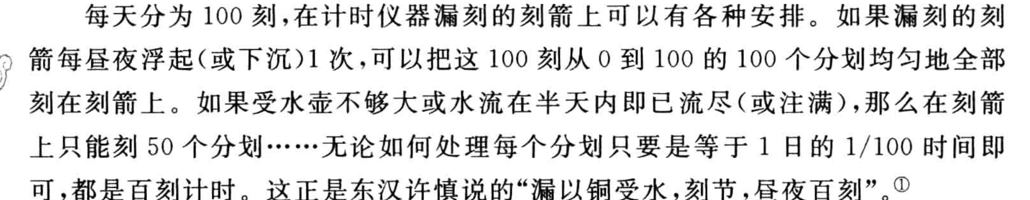
漏刻的“刻”，刻箭的“刻”与我国的百刻计时制有关。百刻计时制是我国固有的，它是世界上最早的等间距计时制，把 1 日均匀分为 100 等份，每段时间为 1 刻。现今我们使用的 1 刻钟（15 分钟）的“刻”亦源于此。

百刻计时制可能出现在商代。世界其他文明古国使用的大多是不等分的计时制，即一天中每一时间单位在不同时刻其时间间距是不同的。古埃及早在公元前 30 世纪创立了 24 时制，昼 12 时，夜 12 时，昼、夜的每一时不等，不同季节由于日出日落时刻的不同，每时的长度也是变化的。古希腊于公元前 540 年继承了巴比伦和埃及文化后到公元前 2 世纪才确立了 24 小时不等时制。约在公元前 140 年，天文学家依巴各还以 24 不等时制用于天文观测。欧洲各国使用 24 小时不等时制共达 20 个世纪之久，直到应用机械时钟为止。古罗马大约在公元前 3 世纪的亚历山大时代才采用昼夜各 12 小时的不等时制。

中国很早就出现等时制的百刻计时制是十分科学的计时制，它必然是由计时仪器漏刻的刻箭中读取而应用的。

### （二）昼刻和夜刻





每天分为 100 刻，在计时仪器漏刻的刻箭上可以有各种安排。如果漏刻的刻箭每昼夜浮起（或下沉）1 次，可以把这 100 刻从 0 到 100 的 100 个分划均匀地全部刻在刻箭上。如果受水壶不够大或水流在半天内即已流尽（或注满），那么在刻箭上只能刻 50 个分划……无论如何处理每个分划只要是等于 1 日的 1/100 时间即可，都是百刻计时。这正是东汉许慎说的“漏以铜受水，刻节，昼夜百刻”。[①]

可是中国漏刻的特点是在刻箭的分划上要区分白天包含的刻数和夜晚包含的刻数，即昼刻和夜刻。

把一天分为昼、夜两部分，主要是政府对于社会、人民的作息管理及祭祀等要求出发的。如汉代规定在皇城、宫殿中“昼漏尽，夜漏起，宫中卫宫城门击刁斗，周庐击木柝”。“夜漏起，中黄门持五夜相传授”。[②]《汉杂事》“鼓以动众，钲以止众，

---

① （东汉）许慎：《说文解字》，中华书局，1978 年，第 237 页下。

② 《汉旧仪补遗》卷下。



鼓鸣则起，昼漏尽钲鸣则息”。

### （三）昼夜时刻在一年中的变化和刻箭的更换

在同一地方一年中昼夜长度不断变化，在不同纬度地方于同一日期昼夜长度也是不同的。昼夜长度与太阳赤纬及地方纬度有关，对同一地方（古代常以地中阳城或京城地方为准）则与太阳赤纬有关。

在刻箭上的百刻分划旁注上日出、日没、昏、旦时刻，以及把夜间时间均分为5等份注上每更时间，及夜的中点——子夜即三更三点，这就是古代刻箭的注记。由于昼夜长度不断变化，每天更换一根有相应注记的刻箭，一来繁琐不便，二则一天的变化还不足够大，因而采取隔一定时间更换一根箭的方法。

具体更换的方法则随天文观测及计时精度即漏刻精度的提高而几经改革。

《隋书·天文志·漏刻》：“刘向《鸿范传》记武帝时所用法云：冬夏二至之间，一百八十余日，昼夜差二十刻，大率二至之后，九日而增损一刻焉。”“光武之初，亦以百刻九日加减法，编于《甲令》，为《常符漏品》。”根据冬至到夏至（或夏至到冬至），在180多天中昼夜长度变化20刻，采取每9天更换一次注记不同的刻箭的方法，且制定于法令之中。每年用箭41支。

可是这种方法不够正确，与实际情况之间出现了差距，东汉永元十四年（102）太史霍融提出“官漏刻率九日增减一刻，不与天相应，或时差至二刻半不如夏历密”。和帝命史官与霍融做天文观测比对。结果是太史令舒、承、梵等报告说：“漏刻以日长短为数，率日南北二度四分而增减一刻。一气具十五日，日去极各有多少。今官漏率九日移一刻，不随日进退，夏历漏随日南北为长短，密近于官漏，分明可施行。”[①]同年底和帝下诏采用新办法，每年换箭共48支。



从汉武帝时以每9天换一箭变换注记一刻的办法，到东汉和帝永元十四年采用新法其间经历了200多年。

由于太阳赤纬变化也是不均匀的，采用了二十四节气中每节、气更换两支箭的办法，这也是一种近似方法，但比9天换一箭要精确得多了。它反映：①天文观测和漏刻计时本身精度的提高；②认识到一年中昼夜长度的变化原因是“日行黄道去极”的远近不同，即太阳赤纬的变化。

昼夜漏刻数据载于“二十五史”中有关历法的天文、律历志中，是我国天文学史中最古老最完整的关于太阳位置的实测记录。

关于因温度不同，在不同季节影响漏水下滴速度而需改换箭（百刻的总长度不

---

① 以上均见《续汉书·律历志中》。见《历代天文律历等志汇编》，第1486～1487页。

同)的讨论见第十二节。

### 二、刻箭浮沉次数

中国古代既将一天的刻数分为昼、夜,在对漏刻的操作时亦按昼漏及夜漏的区分而分别上水下漏,刻漏的浮沉距离一般为比最长的昼(夜)刻稍多些即敷应用,但有的刻箭刻出 100 刻全程而在旁注出日出、日落、晨、昏及夜间的五更时刻。通常每天使用昼、夜两支箭。

为了提高漏刻的刻箭分划值的精度,即把代表每刻时间的间距增大,或者增加刻箭的长度,那么相应地就要增加受水箭壶乃至整个漏刻组的尺寸,不足取;或者增加每昼夜漏箭的浮升次数,就是在漏箭的全长度上只刻较少的刻数,而使漏刻的设计在每昼夜中多次上浮刻箭。燕肃莲花漏的刻箭就是设计为全程仅刻 25 刻,每昼夜上浮 4 次。元赵友钦设计的用来测量恒星赤经的特制漏刻,使刻箭每天浮沉各 50 次,“每箭分一百四十六画半,昼夜之间易水五十次,箭之浮沉亦各五十,于是一日不云百刻,乃云百箭矣。天体一日绕地一周,运行三百六十五度余四分之一,其运一度则箭之浮沉为四十画,百箭总一万四千六百五十划,乃一周之数也。”[①]按这些数据每一分划的刻箭升降时间约 6 秒,通过估读,可以读到 1～2 秒钟。这是读数精度,与漏刻精度是两个概念。

## 第六节　一级漏刻



一级漏刻指没有水位补偿装置的漏刻。它主要仅由一把漏壶组成,随着水的下滴水位下降,刻箭随浮舟下降;或者由两把壶组成,水从供水壶中滴入受水壶,刻箭置在受水壶中,随水位上升而随浮舟上浮。前者亦称沉箭漏,后者为浮箭漏,具有多级补偿装置及分水泄流装置的漏刻亦为浮箭漏。西汉以前的漏刻为一级漏刻。

### 一、概说

本章第四节所说的挈壶是原始的一级漏刻,《周礼・夏官司马》:“掌挈壶以令军井”、“凡军事,悬壶以序聚柝”、“皆以水火守之,分以日夜。及冬则以火爨鼎水而沸之,而沃之”。主要目的是用于军事,按汉代郑众的解释是击柝备守,击柝就是敲击梆子,以漏刻来定击梆的时间。冬季为防天寒水冻成冰,则使用热水。

---

① (元)赵友钦:《革象新书》卷下《观测经度法》。



这种原始的漏刻在民间则为农家使用的简易漏刻——田漏，至少在宋代于民间农家广泛地应用着。

挈壶的资料已不可考。

早期漏刻的基本构造一直到西汉时没有什么本质性的改变。可能只是在刻箭上有所改进。初期可能只是在漏壶中插一支有分划的直杆，水退到哪一刻度，就知道当时的时刻。由于水附着于杆上，读数比较困难也不易准确。后来，在箭杆下端固定一小块竹、木一同浮在水面，使刻箭能随水位下降而随木块下沉。漏壶上端的盖子中央则开一孔，使箭杆能在孔中上下。观测盖口处刻箭的分划就方便和精确多了。宋薛尚功《古代钟鼎彝器款识法帖》中图录的西汉谭正制作的沉箭漏及近年来出土的兴平铜漏等的壶盖上均开有长方形孔即为此用。

一级型漏刻的根本缺点是随着水位下降水压减小，而使流速流量不断降低，刻箭的下沉就不是匀速的了。补救的办法是刻箭的分划必须是不等间距的，即箭足附近的分划较大(开始下沉的刻)，逐渐减少，箭上部的分划间距最小。用这种刻箭来读取时刻精确度不可能高。由于缺少刻箭分划的记载，及出土的漏刻中由于竹、木易腐已荡然无存，尚未得到确证。

## 二、西汉漏刻

### (一)西汉漏刻简况

#### 1. 丞相府铜漏及其他

文献记载的西汉漏刻首推丞相府漏刻即薛尚功著录的。该漏壶“高九寸有半，深七寸有半，容五升”。壶上有小篆铭文“廿一斤十二刃。六年三月己亥，卒史神工谭正，丞相府”。该壶盖上有方孔，下有滴管，当系单壶泄水型沉箭漏。另一具为近代学者容庚所藏：“壶银制，通盖高四寸九分，器高四寸二分，深三寸七分，口径一寸八分，唇广一分半。盖高八分，深六分，口径一寸五分，唇广一分半。流长八分，口径三分半，唇广一分。盖有长孔……色灰黑，银错花纹……形制与考古图所载丞相府漏壶相同而小其半……”[①]此壶有盖，盖上有孔，有滴水管，亦系单壶泄水型沉箭漏。






① 容庚：《颂斋吉金图录》，《考古学社专集》，1933年，第8期。

**2. 出土文物**

多为近年来出土的。

(1)兴平铜漏。1958 年于陕西兴平县茂陵附近出土(图 12－1)。据报告:为西汉中期物,圆筒形,有提梁盖,通高 32.3 厘米,壶盖直径 11.1 厘米,盖和提梁中央有对应的长方形插尺孔各一个,长 1.73 厘米,宽为 0.5 厘米,壶身口径 10.6 厘米,高 23.8 厘米,壶嘴长 3.8 厘米,口径 0.25 厘米。[①] 从其特征可知为单壶泄水型沉箭漏。

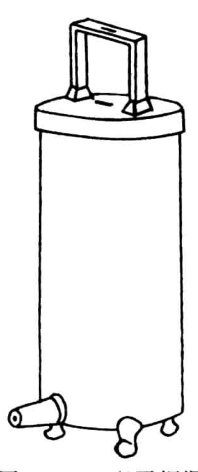


图 12－1　兴平铜漏

(2)满城铜漏。1968 年于河北满城西汉中山靖王刘胜墓出土。刘胜为汉景帝子,卒于武帝元鼎四年(前 113),此漏当于公元前 113 年以前制作。发掘报告:"圆柱形,下有三足,通高 22.4 厘米,近底处有小管,外通小管已残断,壶盖上方有提梁,盖和提梁有相对应的长方形小孔各一。"[②]据此,亦为单壶泄水型沉箭漏。



(3)千章铜漏。1976 年在内蒙古自治区伊克昭盟杭锦旗沙丘中发现。据报告,该漏壶壶内底上铸有"千章"二字,正面刻有铭文"千章铜漏一,重三十二斤,河平二年四月造",盖的第二层梁上刻"中阳铜漏"4 字。壶通高 47.9 厘米,内深 24.2 厘米,径 18.7 厘米,近壶底处有一圆形流管,下斜 23°,上面斜长 8.2 厘米,下面斜长 7.2 厘米,根径 2.4 厘米,端径 1.8 厘米,孔径 0.31 厘米。盖上有双层梁,自盖顶至第一层梁距 6.5 厘米,第一层厚 0.9 厘米。自第一层梁至第二层梁距 6.1 厘米,第二层梁厚 0.8 厘米。壶盖上和两层梁中央有对立的三个长方孔。壶容量

① 兴平县文化馆,茂陵文管所:《陕西兴平汉墓出土的铜漏壶》,《考古》,1978 年,第 1 期。

② 中国科学院考古研究所满城发掘队:《满城汉墓发掘纪要》,《考古》,1972 年,第 1 期。



6 384立方厘米，全重 8 250 克。①

此壶为西汉成帝河平二年（前 27）四月在千章县制造的。千章和中阳在西汉时均属西河郡，西汉中阳县在今山西中阳县城以西，千章县也在山西境内。这也是一具单壶泄水型沉箭漏。

（4）巨野铜漏。1977 年于山东巨野县西汉墓出土。该墓主可能是汉武帝子昌邑王刘髆，髆死于武帝后元二年（前 87），据报告：为圆筒形，高 79.3 厘米，直径 47 厘米，厚 0.7 厘米，重 74 千克。距器底 5 厘米处有一圆孔。另有一筒形杯状体可由壶内插入圆孔内。据华同旭研究此为一漏刻的供水壶②。论点是：①该壶没有盖和提梁，不是单壶泄水型沉箭漏；②该壶平底无足，和后世浮箭漏的供水壶相同，平底是因为置于箭壶后上方的平台上，不需有足；③该壶大，正是浮箭漏供水壶的特征。此说可信。由《汉书・武五子昌邑王传》在刘髆之子刘贺的传中有“夜漏未尽一刻，以火发书，其日中贺发，晡时至定陶行百三十五里，待从者马死相望于道”。可知昌邑王府是有漏刻的，该种漏刻已可计时到 1 刻可见已是比较精密的一种。刘髆墓内陪葬漏刻完全可能。巨野铜漏是出土漏刻中唯一的一件不能直接确认而系推论出的漏刻。确切性比前三种为差，也有待今后进一步深入研究。

### （二）西汉漏刻的精确度

东汉时出现了有补偿水位装置的多级漏刻。西汉漏刻可视为一级漏刻发展和使用的最后时期。代表一级漏刻的最高精度。

西汉漏刻在汉武帝时，从出土的几具漏刻来看多为单壶泄水型沉箭漏。这种漏刻大约与先秦漏刻没有什么大的差别。因为汉初庶事草创，袭秦正朔。《隋书・天文志・漏刻》：“汉兴，张苍因循古制，犹多疏阔。及孝武考订星历，下漏以追天度，亦未能尽其理。”就是说在汉武帝太初元年（前 104）改历以前，漏刻和其他事业一样因袭先秦制度；直到太初改历时才有所改进。

百刻计时制早于西汉前已有，应该说自有时制之时起，已能将时刻计量到 1 刻，否则采用百刻是没有意义的。

东汉永元十四年（102）太史霍融的改历建议认为昼夜刻数与实际相差到二刻半。可以认为此时漏刻在一天中的精确度已达半刻。当然夏历在此以前已经实行，相差二刻半的结论在公元 102 年前已经发现，但二级补偿式漏刻文献记载的确切日期在东汉张衡的《漏水转浑天仪制》中，张衡生活在公元 78 年至 139 年。在二级补偿式漏刻出现以前及一级泄水型沉箭漏之间，还经历了一个由两把漏壶组成



---

① 伊盟文物工作站：《内蒙古伊克昭盟发现西汉铜漏》，《考古》，1978 年，第 2 期。

② 华同旭：《中国漏刻》，安徽科学技术出版社，1991 年，第 24～26 页。

的一级双壶浮箭漏的阶段，当在汉武帝以后至东汉以前即在西汉中晚期。浮箭漏的优点在于，如果采用体积大，高度却小的供水壶，和相对圆截面较小的受水箭壶，及采用供水壶高水位供水，那么在受水壶的整个受水过程中，供水壶的水位降相对于开始工作时的原始水位是小的。这样，供水壶流量的变化小，相对稳定，从而提高了计时精度。

因而我们可以认为西汉武帝以前的漏刻计时精确度约每天 1 刻至半刻，武帝以后约每天半刻或稍好些。

对于计时仪器的精确度必须指明在多长时间中的数字，这里指的“每天”是因为漏刻必须尽可能地以天文观测来校正，白天根据太阳，夜间考以中星。也许因气候影响不可能天天观测，但大致是这一量级。如连续阴雨匝月无法做天文观测，则漏刻在连续运行中计时误差是会累积得较大的，此时给出的时刻不准，但在此处不属讨论范围。

### (三)泄水型沉箭式单壶漏刻尺寸的探讨

单壶泄水型沉箭漏的刻箭下沉速度随水位下降而减少。如欲力求下沉速度的变化率在刻箭下沉的全过程中相对地小，则或者采取很大高度的漏壶，仅使用水位最高处较少的一段，或者采取刻箭分划的不等分刻划。前者既不经济，也不方便，因而不等分的分划法很可能是实际采用的办法。

现来探讨采用不等分分划刻箭的泄水型沉箭式单壶漏刻的合理尺寸(图 12－2)。

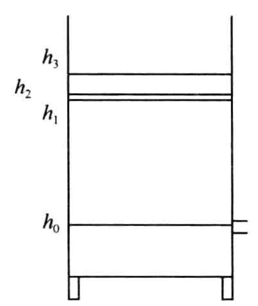



图 12－2　泄水型沉箭式单壶漏刻示意图





在图中，设出水口中心的水位 $h_0$ 为 0，$h_2-h_1=\Delta h_1$，为相应于沉箭最后一分划(1 刻)的水位降，$\Delta h_1$ 的选定是要求能分辨出，$h_1$ 不能太低，对于同一 $\Delta h_1$，$h_1$ 愈低全部分划将大得多。由 $h_1$、$\Delta h_1$ 及 $h_2$，应用静水力学基本原理在不考虑出水管形状、长度、孔径引起流量状况的不同的条件下，可计算最后第二刻开始时的水位 $h_3$：

$$h_3 = h_2^2/h_1$$

$$\Delta h_2 = h_3 - h_2$$



因

$$\Delta h_2/\Delta h_1 = \Delta h_3/\Delta h_2 = \cdots\cdots = \Delta h_n/\Delta h_{n-1} = r$$

由等比级数可计算 $N$ 刻之和的水位降

$$H_N = \frac{\Delta h_1(r^N - 1)}{r - 1}$$

西汉时按日出、没及昏、旦时间分别计量昼、夜漏刻。昼(夜)最长的地方在北方，约在 60 刻以上。我们取全分划为 100 刻(如果昼夜不换箭)及 70 刻分别计算刻划全长，以估算漏壶深度，结果列于表 12－1。采用 $\Delta h_1$＝1mm，2mm 两种，$h_1$＝25mm，40mm，60mm，100mm，150mm，250mm 六种。

**表 12－1 漏壶深度估算表**

| $\Delta h$ (mm) | 最低使用水位 $h$ (mm) | 70 刻水深 $H_{70}$ (mm) | 壶深 $H_{70}+h$ (mm) | 100 刻水深 $H_{100}$ (mm) | 壶深 $H_{100}+h$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 25 | 365 | 390 | 1 240 | 1 265 |
| 1. | 40 | 185 | 225Δ | 430 | 470 |
| 1 | 60 | 130 | 190Δ | 250 | 310 |
| 1 | 100 | 100 | 200Δ | 170 | 270 |
| 1 | 150 | 85 | 235Δ | 135 | 285 |
| 1 | 250 | 80 | 330 | 120 | 370 |
| 2 | 25 | 5 440 | 5 465 | 55 000 | 55 025 |
| 2 | 40 | 1 180 | 1 220 | 5 220 | 5 260 |
| 2 | 60 | 525 | 585 | 1 540 | 1 600 |
| 2 | 100 | 300 | 400 | 625 | 725 |
| 2 | 150 | 240 | 390 | 565 | 715 |
| 2 | 250 | 185 | 435 | 305 | 555 |




由上表可见，若取 $\Delta h_1$＝1mm 的数据，则表中有 Δ 注记的数值皆基本与出土的兴平、满城千章及丞相府漏壶的深度接近。若增加 $\Delta h_1$ 尺寸，漏壶深度将大为增加。实际上在最后 1 刻以前各刻的间距逐渐增大，更易于读取。通常昼夜漏刻最多在 60 刻左右，所以装满水后，最后 1 刻的 $\Delta h_1$ 要比 1mm 大些。读数精度约在 1 刻左右。这数值也相等于我们前述的单壶泄水型沉箭漏的计时精度。虽然读数精度与计时精确度的概念不同，但读数精度不应低于计时精度，否则无法进行天文

校对。

由于出土西汉漏刻的刻箭荡然无存，文献也无记录，认为它是不等分刻划，只是一种假定，待做进一步探讨。

## 第七节　多级漏刻

随着天文测量、历法等工作对计时精确度要求的提高，一级漏刻由于水位变化造成流量变化导致的计时误差限制了漏刻计时精确度的提高。因而改进漏刻的任务自然落在天文学家身上。

大约至迟在东汉初年时出现了二级漏刻。因为文献中出现的有关记载是张衡在《漏水转浑天仪制》中的描叙。据唐徐坚《初学记》中载张衡的漏刻："以铜为器，再迭差置，实以清水，下各开孔，以五虬吐漏水入两壶。左为夜，右为昼。盖上又铸金铜仙人，居左壶；为金胥徒，居右壶。皆以左手抱箭，(右)有指刻，以别天时蚤晚。"可以理解为这是由 4 把漏壶组成的二级漏刻，漏水由第一级壶流入第二级壶，第二级漏壶下的受水箭壶则由分别左右的两把壶组成，以分受昼漏与夜漏的水。文中"再迭差置"说明有上、下两级。

由一级浮箭漏过渡发展到两级漏刻，是合乎一般发展规律的。因为从一级沉箭漏到一级浮箭漏，已初步找到了让水位在供水壶中保持高水位及使供水过程中相对水位降减少(供水壶具有比受水壶相对大的截面积)，来减少流量变化的方法。再进一步补充供水壶的水量尽量维持其水位不变，这也许就是出现二级漏刻的发展过程。当然，起初可能是由人工对上级漏壶补充水量的。





二级漏刻出现后，再发展为三级、四级等多级漏刻当然是顺理成章的了。

文献明确记载三级漏刻内容的是在《全上古三代秦汉三国六朝文·全晋文》卷六十二中的晋孔绰《漏刻铭》："累筒三阶，积水成渊。器满则盈，承虚赴下。灵虬吐注，阴虫承泻。"此时约在公元 360 年前后[①]，当东晋穆帝升平年间。三级漏刻的出现应在比这更早一些时。

四级漏刻，从清王皓编《六经图定本·诗经》引杨甲《六经图》知唐初太常博士吕才制造了四级补偿式漏刻"有四匮……又有水海，以水海浮箭。以四匮，注水……以次相注，入于水海，浮箭而上，每以箭浮为刻分也"(图 12—3)。

二级到多级漏刻，目的在于逐级稳定下一级漏壶的水位，级数愈多则供水壶流出的水量愈稳定。

---

① 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981 年，第 206 页注 1。



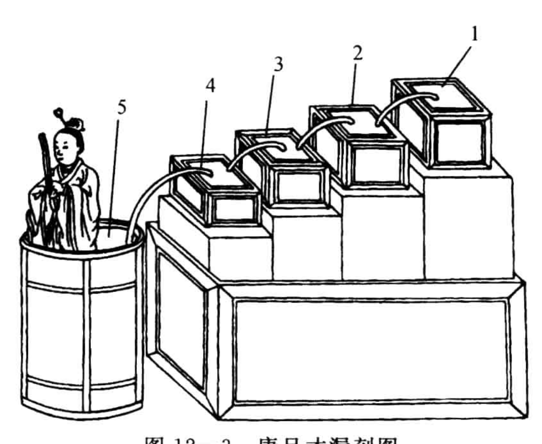


图 12—3 唐吕才漏刻图

1.夜天池;2.日天池;3.平壶;4.万分壶;5.水海

约从东汉初年到宋初的 1 000 年中使用这种多级漏刻,而没有本质的改进。

## 第八节 漫流分水漏刻的发明

多级漏刻使用了很长一段时期后,直到宋代,才又一次有了关键性的改革。宋代,国家在历经了长期的分裂割据后重获统一,生产力空前地得到发展。经济飞速发展促进了科学技术的发展。其中天文学的发展推动了天文仪器的不断改进和提高,作为天文观测不可缺少、关系紧密的计时仪器——漏刻,理所当然地得到发展。

宋仁宗天圣八年(1030),龙图阁待制燕肃向皇帝提出他的经过重大改革以漫流分水来稳定水位的莲花漏。仁宗下诏进行实测以做鉴定,但被守旧官员以燕肃莲花漏①的刻箭制与过去不同以及其他理由而予否定,直到景祐三年(1036)经历了 6 年之久才被肯定,再经历了 3 年的考验才正式采用。事见《宋史·燕肃传》,《玉海》卷十一《天圣莲花漏》条。在采用燕肃莲花漏之前使用的是秤漏,将在另节介绍。

燕肃莲花漏是第一具漫流分水型漏刻。漫流分水漏刻在解决供水壶水位稳定上与多级漏刻相比有本质性的改进(见图 12—4)。




① 我们把"燕肃莲花漏"五字作为一专门名词,以别于民用盂漏中的莲花漏,两者结构截然不同。

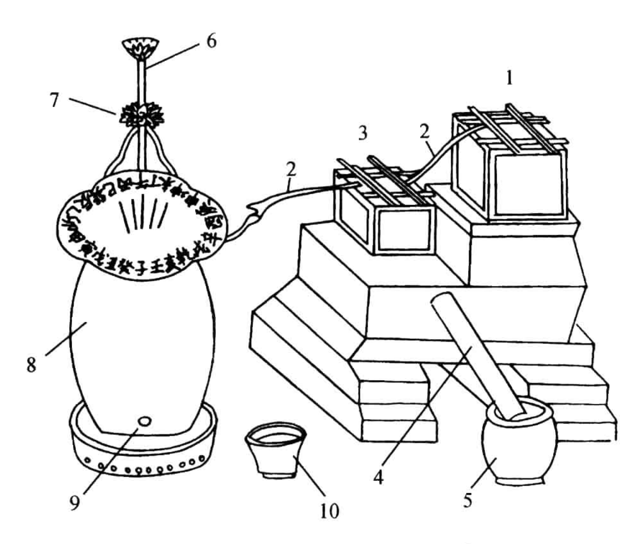



图 12—4 宋燕肃莲花漏刻①

1. 上匮;2. 渴乌;3. 下匮;4. 竹注管;5. 减水盎;6. 箭,上有刻分;7. 莲花;8. 壶;9. 退水孔;10. 退水盆

它是采用上、下两匮,上匮的水通过渴乌(虹吸管)注入下匮,下匮的水亦通过一渴乌注入受水箭壶。关键之处是在下匮的一定高度处开一孔,孔外连接一管,管下端为一盛水容器。使上匮注入下匮的水流量略大于下匮注入箭壶的水流量,多余的水就从分水孔通过管子分流到盛水容器中。这样下匮的水位可以稳定保持在分水孔下端,达到注入箭壶的水量均匀稳定的目的。

称为莲花漏的原因是受水箭壶上置一铜荷叶,中心支一莲心,刻箭上端饰有一莲花之故。为提高读数精度,它的刻箭是"箭以漆桐为之,长四尺,径六分,重四刃有半,刻莲花漏为首饰,上一尺六寸刻节候,中一尺五寸分二十五刻,每刻六分,下九寸刻在莲心"②。另一种记载是"剡木为四分之箭,以测十二辰,二十四气,四隅十二泊百刻分布昼夜","箭四觚,面二十五刻,刻六十分,四面百刻,总六千分以效日,面千五百分,昼夜总六千分"③。第一种记载"中一尺五寸分二十五刻",第二种记载"面二十五刻,刻六十分,昼夜总六千分"都说明每昼夜箭需浮沉 4 次,每次历时 25 刻。这样就把刻箭上每刻的间距扩大 4 倍易于精确读取。我们把上述数据按宋尺每尺等于 30.72 厘米计算,前者 1 尺 5 寸合 460.8 毫米,以每刻分 6 份计每分划间距 3.07 毫米,相应时间为今 2 分 24 秒;后者每刻分 60 份计每分划间距为 0.31 毫米,相应时间为今 14.4 秒。读数时若以第一种考虑,估读到一个分划的




① 取自《古今图书集成·历法典》卷九十九。竹注管上端应接下匮,原图有误,接到了底座上。

② 《古今图书集成·历象编·历法典》卷九十九《漏刻部》。

③ 《玉海》卷九十一。



1/2到1/3也许是可能的,则显示的时刻约在50秒左右。这当然不是漏刻的计时精确度。漏刻的计时精确度是一个复杂的问题,牵扯许多因素。①

燕肃莲花漏从提出到应用,其间曾经过几次改进。景祐三年(1036)二月"复命得象(学士章得象)等重定水秤、刻漏。四月辛亥,得象言水行有迟疾,请增用平水壶一,渴乌二,昼夜箭二十一";皇祐初年(1050年前后)"诏舒易简、于渊、周琮更造其法,用平水重壶均调水势使无迟疾"。事载《宋史·律历志九》中。平水重壶系指将下匮分隔为两部,水可在其中相通,后来沈括漏刻中的复壶即本于此。上述景祐三年增加了平水壶即有分水孔的下匮的这段记载,奠定了此后燕肃莲花漏的特点,在此以前可能无此装置,也许可以说燕肃莲花漏是他和学士章得象等人集体创作的成果。从这点来看,燕肃莲花漏最初被否定,历经多年才得以肯定推广的原因,除了他采取的刻箭制度与当时用的历法崇天历(行用于1024—1064年,1068—1074年)的不同而遭抵制属于保守思想外,本身的缺陷亦是主要原因。可见当时对于重要科学技术的采用与鉴定是十分郑重的。

燕肃莲花漏除用于天文测量计时外,地方州、郡也广泛应用。现今我们还可以见到记叙的文字有宋人夏竦的《颍州莲花漏铭》、王安石的《明州刻漏铭》(明州,今宁波)和苏轼的《徐州莲花漏铭》等。

## 第九节　沈括的漏刻

沈括(1031—1095),宋代杰出的科学家、天文学家,在主管司天监工作时对漏刻做了细致的研究工作。在他著的《梦溪笔谈》卷下中写道:"予占天候景,以至验于仪象,考数下漏,凡十余年,方粗见真数,成书四卷,谓之《熙宁晷漏》,皆非袭蹈前人之迹。"在同书卷八中说:"熙宁(1068—1077)中,予更造浑仪,并创为五壶浮漏、铜表,皆置天文院,别设官领之。"可惜《熙宁晷漏》四卷早已遗失,幸而《宋史·天文志》中保留了他对天文仪器的三篇主要论文("初,括上《浑仪》,《浮漏》,《景表》三议"),其中《浮漏议》给我们详尽地提供了沈括漏刻的构造,他对漏刻的认识和见解,使我们得以了解在他那个时代我国漏刻及其研究的水平。作为中国古代文献保存下来的具有很高水平的这篇专论,我们全文录下,以供参考。





《浮漏议》曰:

> 播水之壶三,而受水之壶一。曰求壶,废壶,方中皆圆尺有八寸,尺有四寸五分以深,其食二斛,为积分四百六十六万六千四百六十。曰复壶,

① 全和钧:《宋代天文测时、宋时仪器的最大观测误差分析》,《中国科学院上海天文台年刊》,1982年,第4期。

如求壶之度。中离以为二，元一斛，介八斗，而中有达。曰建壶，方尺植三尺有五寸，其食斛有半。求壶之水，复壶之所求也。壶盈则水驶，壶虚则水凝。复壶之胁为枝渠，以为水节。求壶进水暴，则流怒以摇，复以壶，又折以为介。复为枝渠，达其滥溢。枝渠之委，所谓废壶也，以受废水。三壶皆所以播水，为水制也。自复壶之介，以玉权酾于建壶，建壶所以受水为刻者也。建壶一易箭，则发土室以泻之。求、复、建壶之泄，皆欲迫下，水所趣也。玉权下水之概寸矫而上之然后发，则水挠而不躁也。复壶之达半求壶之注，玉权半复壶之达。枝渠博皆分，高如其博，平方如砥，以为水概。壶皆为之幂，无使秽游，则水道不慧。求壶之幂龙纽，以其出水不穷也。复壶士纽，士所以生法者，复壶制法之器也。废壶鲵纽，止水之沈，鲵所伏也。铜史令刻，执漏政也。冬没煴燎，以泽凝也。注水以龙噣直颈附于壶体，直则易浚，附于壶体则难败。复壶玉为之喙，衔于龙噣，谓之权，所以权其盈虚也。建壶之执窒疵涂而弥之以重帛，窒则不吐也。管之善利者，水所渡也，非玉则不能坚良以久，权之所出高则源轻，源轻则其委不悍而渡物不利。箭不效于玑衡，则易权洗箭而改画，覆以玑衡，谓之常不弊之术。今之下漏者，始尝甚密，久复先大者管泐也。管泐而器皆弊者，无权也。弊而不可复寿者，术固也。察日之晷以玑衡，而制箭以日之晷迹，一刻之度，以赋余刻，刻有不均者，建壶有眚也。赘者磨之，创者补之，百刻一度，其壶乃善。昼夜已复，而箭有余才者，权鄙也。昼夜未复，而壶吐者，权沃也。如是，则调其权，此制器之法也。

下漏必用甘泉，恶其垽之为壶眚也。必用一源，泉之冽者，权之而重，重则敏于行，而为箭之情慓泉之卤者，权之而轻，轻则椎于行，而为箭之情驽。一井不可他汲，数汲则泉浊。陈水不可再注，再注则行利。此下漏之法也。

箭一如建壶之长，广寸有五分，三分去二以为之厚，其阳为百刻，为十二辰。博牍二十有一，如箭之长，广五分，去半以为之厚。阳为五更，为二十有五筹；阴刻消长之衰。三分箭之广，其中刻契以容牍。夜算差一刻，则因箭而易牍，镣匏箭舟也。其虚五升，重一镒有半。锻而赤柔者金之美者也，然后渍而不墨，墨者其久必蚀。银之有铜则墨，铜之有锡则屑，特铜久瀒则腹败而饮，皆工之所不材也。

我们不拟逐句解释《浮漏议》，将其对漏壶组的基本结构及对水、部件的要求予以介绍：

(1)漏刻由 4 把壶组成。即供水壶第一级为求壶，第二级为复壶组成；受水壶



为建壶(箭壶);承受分流溢出多余水量的废壶。

(2)水从求壶注入复壶,而由复壶注入建壶。分流出的水则由复壶注到废壶。沈括漏刻的关键核心部分是复壶的构造。由于古文叙述中表达的歧异,对于复壶构造后世学者有不同解释。

(3)我们认为复壶的构造是,以隔板(介)把复壶分为前后两部分,隔板上有孔(达)相通。在复壶壁上部开有方孔(枝渠)以溢水。复壶中隔板上的孔,其高度约为复壶高的一半,而复壶注入建壶的出水孔开在复壶高的 1/4 处("复壶之达半求壶之注,玉权半复壶之达")。复壶的排水管玉权衔于复壶的龙嘴中,玉权水平地一直通到复壶内部的达附近("自复壶之介,以玉权釃于建壶")。隔板的作用是使从求壶下注的水引起的水波激浪得到缓冲,平稳地通过以流入装有玉权的那半边壶中。玉权出水口不设在壶底处,而设在 1/4 高处是为了减低一些水通过管子的压力和冲刷力以免磨蚀及避免壶底处的尘埃沉积物的堵塞。

(4)提出使用的水源要求,要用质佳的泉水(甘泉),且必须使用同一泉水不能更换,供漏刻用的泉需专用不可他用以免汲的次数多引起混浊,用过的水不能再用等。漏刻所有的水其黏滞系数、密度,以及水温都直接影响到计时精确度,是必须考虑的因素。

(5)对"权"的材料,箭的浮舟材料都提出要求。以不易锈蚀为佳。

中国古代的漏刻发展到沈括时期已达最高水平,以后终漏刻发展历史再也没有更大更根本的改进了。

由于沈括《浮漏议》及他在《梦溪笔谈》一则关于应用漏刻测定日长变化的论作,人们对于他的漏刻给予了充分重视,尤其是近年来许多学者做了一系列研究。这些实际上是对我国漏刻的最高水平及天文观测精度等天体测量学中重要问题的探讨。下面分别予以介绍。





## 一、沈括漏刻构造的讨论

沈括漏刻的结构关键在于复壶的构造。著名科学技术史家李约瑟在《中国科学技术史》第 3 卷天文第 20 章天文学七,天文仪器的发展(4)刻漏给出的图(见图 12—5)及说明解释(对沈括《浮漏议》)成为讨论的中心,因为这是一本权威著作。他认为:"他(指沈括)所有的名称略有不同,即把恒定水位壶中的漫流隔室称为'枝渠',隔板本身称为'水概','水概'上有半圆形的缺口,状似用旧的磨刀石,因而称为'釃'。"据此李志超[1]的解释是李约瑟把"概"解释为隔板,应为分水管,把"釃"解

---

① 李志超:《沈括的天文研究(一)刻漏和妥法》。

释为隔板上方的月牙形缺口，因为动词分（流），而对于“达”则未给出解释，因而得到错误的理解（图 12—6）。陈美东[①]对之有相似的看法，并做了复原与详尽的解释（图 12—7）。《中国天文学史》亦给出了复原图，但认为复壶的两半隔室各有一个分水管且居于不同高度处（图 12—8）。

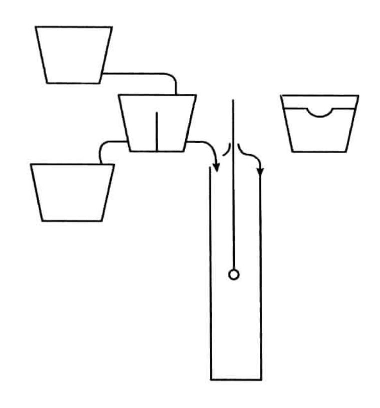


图 12—5　沈括漏刻结构（据李约瑟）

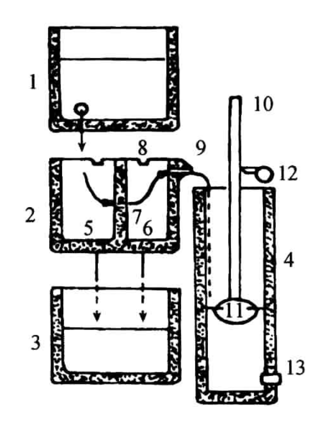



图 12—6　沈括漏刻结构（据李志超）

1. 求壶；2. 复壶；3. 废壶；4. 建壶；5. 元；6. 介；7. 达；8. 枝渠；9. 玉权；10. 箭；11. 缥匏；12. 刻；13. 执室

李志超认为“玉权”系虹吸管，我们认为应按陈美东解释为出水管较妥，当时虹吸管已有专门名词“渴乌”，用于漏刻则称渴乌漏刻；而陈说玉权安于距底一定高度处可以解释文中“权之所出高则源轻，源轻则其委不悍，而溲物不利”。《中国天文

① 陈美东：《我国古代漏壶的理论与技术》，《中国科学史研究》，1982 年第 1 卷，第 1 期。



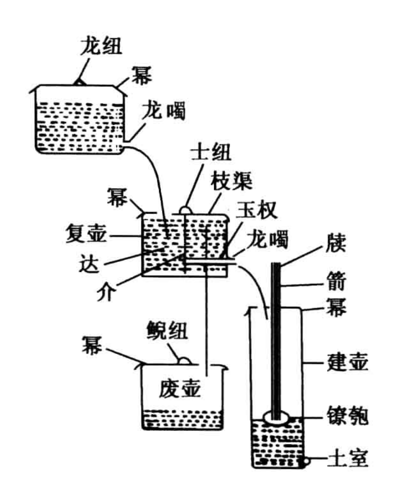



图 12—7 沈括漏刻结构(据陈美东)

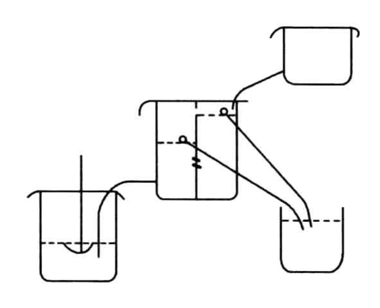


图 12—8 沈括漏刻结构(据《中国天文学史》)





学史》中给出的复壶两半均有出水管，实行两次分流，从原理上说是合理的，原文中“复为枝渠，达其滥溢”也可能有此意。

三家之论，我们认为从基本点来说都比李约瑟的更为正确，其分歧之处有待于进一步研究讨论。

## 二、日长能否测定的讨论

沈括《梦溪笔谈》卷七中一则较为详尽的讨论利用漏刻测定日长变化的论述，是近年来不少学者讨论的课题。原文为：

> 古今言刻漏者数十家，患皆疏谬。历家言晷漏者，自颛帝历至今，见之世谓之大历者，凡二十五家。其步漏之术，皆未合天度。予占天候景，以至验于仪象，考数下漏，凡十余年，方粗见真数，成书四卷，谓之《熙宁晷漏》，皆非袭蹈前人之迹。其间二事尤微。

一者，下漏家常患冬月水涩，夏月水利，以为水性如此。又疑冰澌所壅。万方理之，终不应法。予以理求之，冬至日行速，天运已期，而日已过表，故百刻而有余。夏至日行迟，天运未期，而日已至表，故不及百刻。既得此数，然后复求晷影漏刻，莫不泯合，此古人之所未知也。

二者，日之盈缩，其消长以渐，无一日顿殊之理。历法皆以一日之气短长之中者，播为刻分，累损益气初日衰每日消长常同，至交一气则顿易刻衰，故黄道有觚而不圜，纵有强为数以步之者，亦非乘理用算，而多形数相诡，大凡物有定形……其详具予奏议藏在史官及予所著《熙宁晷漏》四卷之中[①]。

上述沈括的论述中，其第二段，因主要是天文问题，与漏刻关系比较间接，虽近来亦有学者对此进行了研究讨论，但已出本卷范围。我们仅对于漏刻计时有直接关系的第一段的讨论，做一简介。

第一段内容说的是：当地球绕日公转，视太阳在黄道上运行时，由于冬季地球在近日点，根据开普勒行星运动第二定律，在相等的时间内行星和太阳的连线所扫过的面积相等，即转过的角距大，因而视太阳连续两次上中天即一个视太阳日的时间间隔长；而在夏季则相反。这是现今的认识，当时认识到太阳在天空恒星中位置的变化速度。因而核对原文似有误，即在引文加点的“已过”应改为“未至”，这一错误近人多以为是抄录人擅改造成的。

文中“天运”应指恒星的周日视运动，而非指平太阳日，当时不可能具有这一概念，古代测定时间或以中午视太阳位置为准以圭表测定，或以浑仪等测角仪器观测恒星测定，即以黄道恒星周日视运动的一周再加黄道上 1°为准。以恒星为对象得到的日长为准，在冬季视太阳日更长些，所以“天运已期，而日未至表”。夏季视太阳日短些，所以“天运未期，而日已至表”。这一解释现代各家基本统一。问题是沈括是从理论上来解释的还是通过实测从漏刻上反映到的，这一问题直接反映漏刻计时的精确度。虽然文中明确地写道“既得此数，然后复求晷影漏刻，莫不泯合”。





各家意见，竺可桢[②]、陈遵妫[③]、刘仙洲[④]、李志超[⑤]、钱景奎[⑥]认为沈括能得到这

① 《(元刊)梦溪笔谈》，文物出版社，1975 年。

② 竺可桢：《我国古代在天文学上的伟大贡献》，《科学通报》，1951 年第 2 卷，第 3 期。

③ 陈遵妫：《中国古代天文学简史》，上海人民出版社，1955 年，第 127 页。

④ 刘仙洲：《我国古代在计时器方面的发明》，《清华北大理工学报》，第 2 卷，第 2 期。

⑤ 李志超：《沈括的天文学研究(一)刻漏和妥法》，《中国科学技术大学学报》，1978 年，第 8 卷，第 1 期。

⑥ 钱景奎：《关于沈括用晷漏，观测发现真太阳有长短的探讨》，《自然科学史研究》，1982 年，第 1 卷，第 2 期。



一结果，李广申[①]等人则认为不能，郭盛炽[②]则认为尚待进一步讨论。肯定的诸家中李志超、钱景奎做了具体分析，有的作者则是援引原文而作结论。

真(视)太阳日在一年中长度的相对变化约差 51 秒，而与平太阳日(即大约等于根据恒星测定的数值)相差最大差值约为 30 秒。我们认为连续长期使用漏刻是有可能在真太阳日与平太阳日相差最大的日子里发现这个情况的。当然还得通过连续许多天的观测中才能从累计数中得到。这牵涉天文观测的精确度和漏刻的高精度的“钟速”(钟速是计时仪器日差的变化率)。对于以流水点滴下注来计时的漏刻来说，温度、水质、操作种种都影响精确度，能达到这一目的确属不易。这一问题还待进一步研究。

## 第十节　元、明、清漏刻

自宋代以后的漏刻至今未发现本质性重大的改革。

元代在天文测量仪器上有重大成就，如郭守敬创造的简仪，在高表测景中使用的关键辅助设备“景符”等。而在计时仪器上没有什么改进，元顺帝至正十四年(1354)，郭守敬为宫殿中使用而制造的“大明殿灯漏”则属于具有各种报时装置的机械时钟之类，其动力仍用漏水，但未见有何改进。

我国传世最古老完整的漏刻当属现保存于中国历史博物馆的元延祐漏刻。由三把供水壶及一把受水箭壶组成。元仁宗延祐三年十二月(1317)制，原置拱北楼，清咸丰十年(1860)重修，一直使用到清末。此漏刻属非天文观测使用的民用计时器。

明代漏刻工作更无作为。明太祖朱元璋于公元 1368 年建都南京建元洪武，明成祖于永乐十九年(1421)正式迁都北京。明代施行的大统历实际上内容却是元郭守敬编制的授时历。我国古代十分重视的昼夜刻数，在京师迁到北京后，据《明史·历志》历法沿革记载：“永乐迁都顺天，仍用应天冬夏昼夜时刻，至正统十四年(1449)始改用顺天之数”，该年冬景帝即位以“此后造历仍用洪永旧制”又恢复过来。《明史·历志三·大统历法一》：“右历草所载昼夜刻分乃大都漏也”，“明既迁都于燕不知遵用，惟正统己巳奏准颁历用六十一刻(指北京冬夜，夏昼时间为 61 刻)而群然非之。景泰初仍复用南京晷刻，终明之世未能改正也”。

有明一代沿用元授时历改名大统历，由于该历使用时间已长(是中国古代历法

① 李广申：《漏刻的迟疾与液体粘滞性》，《科学史集刊》，1963 年，第 6 期。

② 郭盛炽：《沈括发现的漏壶迟疾和太阳周年视运动的不均匀性》，《中国科学院上海天文台年刊》，1980 年，第 2 期。




中使用时间最长的)，产生差错，而终明之世未能得到改进。作为历法工作的主要仪器漏刻没有进展是理所当然的了。如上所述，京师由南京迁往北京后，昼夜漏刻数却沿用南京的制度，为的是不改祖制，漏刻工作于兹可见。

清代，引进西洋天文知识，康、乾朝曾以铜铸造8件大型天文仪器。清代还仿制和制作了众多的小型天文仪器如日晷、测角仪器等，但对漏刻却没有发展。其中一个主要原因，就是自17世纪把摆用于控制机械时钟及随后发明了擒纵钳后，机械时钟的精确度大为提高超过了漏刻，并于明末清初传入中国，才有可能替代漏刻，而漏刻的提高已无必要，它也已完成了历史任务。

清代漏刻传留至今的，一类为仿制以前的传统漏刻，另一类为创制的小型漏刻。分别介绍于下。

①交泰殿漏刻。乾隆十一年(1746)制，由3把播水壶、1把受水箭壶组成，系按明制仿制[①]，它的构造是"播水壶三，形方。上曰日天壶，面阔一尺九寸，底阔一尺三寸，高一尺七寸。水欲常隔。次曰夜天壶，又次曰平水壶，高阔递减一寸。层接而下……分水壶一，形方，高阔如平水壶，在平水壶下少后。受水壶一，形圆，曰万水壶。径一尺四寸，高三尺一寸，在座前平地上。壶皆有盖。播水三壶，前面近下皆为龙口玉滴，以次漏于受水壶。平水壶后近上穿孔，泄于分水壶，以平其水而均其滴。受水壶上为铜人，报时刻箭，长三尺一寸，上起午正，下尽午初。壶中安箭舟如铜鼓形……"[②]另有承接的分水壶1把。

②皇极殿漏刻。嘉庆四年(1799)制。与交泰殿漏刻形制构造相同。

交泰殿漏刻的刻箭共分24格，每格再分4小格各代替1刻，全天共96刻，每刻分划间距约0.6厘米，全分划长76.3厘米。该漏刻原有刻箭只有一根，有关文献资料中未提及有24根或多根代表不同季节昼夜长度的刻箭。最后一把播水壶内，向后流入分水壶的出水口孔内径约1厘米，前出水口内径约1.5厘米。前龙头口内有铜制圆塞，圆塞内有针孔，内径约0.5毫米，铜圆塞两侧凸出有1毫米粗的小圆柱各一，估计可扭动，可能用来调节水流。





据交泰殿日记档记载"乾隆二十五年五月初九日传旨新来西洋人内有会水法的着收拾交泰殿铜壶滴漏"，可知乾隆年间曾用过。又据清嘉庆年编辑的《清宫史续编》曾提及交泰殿太监职掌，只有"验自鸣钟时刻"，并无掌管铜壶漏事，推知漏刻不常用。

交泰殿漏刻系由太监和清宫造办处管理。乾隆时期对该漏刻的水源，系用翊坤宫井水。修理时直接传旨给造办处办理。钦天监职掌并无管理交泰殿漏刻之

① 《钦天监会典》，清抄本，北京图书馆藏。

② 《天文仪器图》，清抄本，北京图书馆藏。



事。此外，并未见有其他规程和记录。①

皇极殿漏刻上镌的御制铭文：

敬授人时，语传尧典；小子继绳，敢不勤勉；
夜寐夙兴，改过迁善；用制漏莲，随时轮转；
范铜器成，层层舒展；时刻秒分，从无讹舛；
胜彼洋钟，奇巧迭演。皇考作铭，恭诵泪泣；
守器毋忘，文思追缅。不匮惟勤，力行实践。

从铭文可见此时西洋钟表至少在宫中（及上层社会）已广为应用，而漏刻只能作为祖宗传留下来的礼器和装饰品了。而从刻箭已按十二时辰初、正，每天96刻制可知也已与西洋每天24小时时制接轨，这是清中叶前期改变的。它已脱离了自古以来与天文学关系密切的百刻计时制了。

## 第十一节　称水漏刻

称水漏刻又名称水漏器、水称、称漏等。应用中国杆秤称量漏刻受水壶中滴入的水的重量计量时间的一种漏刻。它以受水重量代替受水容积计时。显示时间的设备以秤上感得的重量代替上浮的刻箭。它计时的基本原理与使用刻箭的漏刻相同。我们把它归入传统漏刻一类。它在隋、唐、北宋等朝代与漏刻一样，在计时上得到广泛应用。

据史籍记载公认为北魏李兰发明的（图12—9）。



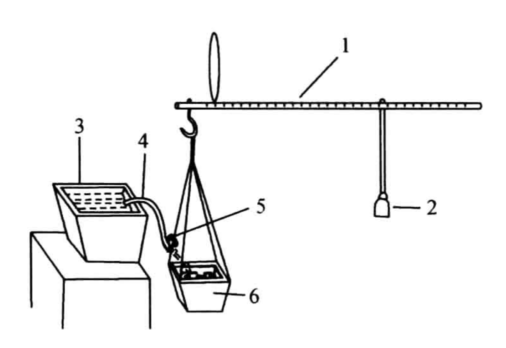




图12—9　李兰秤漏示意图

1.秤杆；2.平衡锤；3.容器（洩水壶）；4.渴乌；5.银龙；6.权器（受水壶）

《隋书·天文志上》漏刻："大业初，耿询做古欹器，以漏水注之，献于炀帝，帝

① 据中国北京，故宫博物院，候育、陆燕贞两先生对作者提出的问题所给的意见。

善之。因令与宇文恺依后魏道士李兰所修上法称漏，制造称水漏器，以充行从。"它的构造在唐徐坚《初学记》中有记载："以器贮水，以铜为渴乌，状如钩曲，以引器中水于银龙口中，吐入权器。漏水一升，秤重一斤，时经一刻。"渴乌是汉代发明的虹吸管。《后汉书·张让传》："又做翻车渴乌，施于桥面，用洒南北郊路以省百姓洒道之费"，张让是后汉桓帝时宦者，约生活在公元160年前后。李兰为公元450年前后人。渴乌引水的称漏，发明时刻可以认为至迟在公元450年。中国杆秤的发明时代，各说中年代不一，迟者亦在公元5世纪前后。

《宋史·律历志三》："国朝复挈壶之职，专司辰刻"，"其制有铜壶、水称、渴乌、漏箭、时牌、契之属：壶以贮水，乌以引注，称以平其漏，箭以平其刻"。其中铜壶为漏刻供水受水的容器，渴乌为引水管，而水称、漏箭分别为称漏及浮漏的时间显示设备。宋代京师在宫内设置的时间计量设备是浮漏与称漏并用的。而更早的唐代也是如此。《玉海》卷十一引夏竦《颍州莲华漏铭序》："于李兰始变古法，权器程水，以准时刻。唐之诸道，率循此制。"夏竦为宋人，所言唐代事相隔年代不远应该是比较确切的。

中国科技大学华同旭的《中国漏刻》一书中对于称漏有一段详尽的分析，他引用的文献是南宋孙逢吉《职官分纪》与《玉海》中相应的一段文字，这段文字经对照相补校正后为：

> 司天之属有挈壶正，掌司辰刻，置署文德殿门内之东庑。设鼓楼、钟楼于殿廷左右。漏刻之法有水秤。以木为衡。衡上刻疏文，曰天河。其广、长容水箭。箭有四，木为之，长三尺五寸，著时刻更点，纳于天河中，昼夜更周之。自卯至午易一箭，自午至酉易一箭，自酉至子易一箭，自子至卯易一箭。衡右端有铜镮连钩，为铜覆荷形。荷下铜索三条，以系铜壶。又为髹漆大奁，曰水柜。中安铜盆，曰水海。奁有盖，上刻白兔——为饰，曰水拍。铜盆隅有铜渴乌一，引水下注壶中。衡左端有大铜爰贯衡，镮下有大铜索连铜权，权为立象形。又有铁竿高五尺，权与铁连跗中，屈上端为方镮形，曰鸡竿。每移改时刻，司辰者以衡尾纳方镮中，以组绳挽权上大铜镮进退之。秤之所系以大木双枢，有跗，如钟簴之制。画五彩金龙为饰。上有铁胡门大铁钩，镮以系之。其制度精巧，未知作者为谁。盖唐及五代用之久矣。

华同旭认为"天河"系秤杆上向上的一道凹槽，用以安放箭尺，而非如李约瑟认为的是秤漏的流水渠道，铜盆供水，铜壶受水，铜盆(水海)浮于水柜中，渴乌由水柜盖上的白兔支持，铜盆内的水面与水柜内的水面间的高度差始终近于一恒量以使水头流量近似恒定。用4根箭是为减少秤杆长度，将一天时间，分段计量(图12—10)。





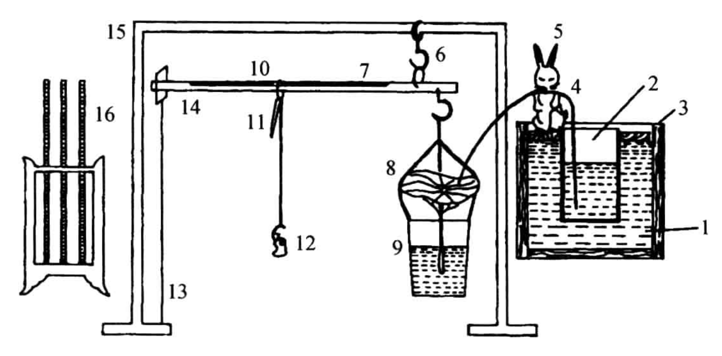




图 12—10 秤漏结构示意图(华同旭)

1. 水柜;2. 铜盆;3. 水拍;4. 渴乌;5. 白兔;6. 铁胡门大铁钩;
7. 秤;8. 铜覆荷;9. 铜壶;10. 箭尺;11. 大铜镊,组绳;
12. 权;13. 鸡竿;14. 天河;15. 秤架;16. 箭

华同旭并复制秤漏做了实验,认为以秤漏计时的日误差可在 1 分以内。

华同旭的研究是我们至今读到的最为合理详尽的研究。若按华同旭对秤漏结构的分析,则《宋史・律历志》中"壶以贮水,乌以引注,称以平其漏,箭以平其刻"即专指秤漏一种。其"箭"系指水箭。

这一解释是合理的。但《宋史・律历志九》皇祐漏刻:"后之作者,或下漏,或浮漏,或轮漏,或权衡,制作不一。宋旧有刻漏及以水为权衡,置文德殿之东庑。景祐三年,再加改定,而水有迟疾,用有司所请,增平水壶一,渴乌二,昼夜箭二十一。"则置于文德殿东庑的漏刻,是常规的浮箭漏与秤漏并用的。

使用秤漏的目的,可能是为了读取比例箭上所能显示的更小的时间分制。按《初学记》所叙"漏水一升,秤重一斤"则很易从秤杆上获得刻以下的细小分数。

用秤漏制成的行漏舆是宋代皇帝出巡的重要礼器之一,列于仪仗队中。《宋史・舆服志一》:"行漏舆隋大业行漏车也。制同钟鼓楼而大,设刻漏如称衡,首垂铜钵,末有铜象,漆匮贮水,渴乌注水入钵中。长竿四,舆士六十人。"可见自隋代即有。(《隋书》无"舆服志",而"礼仪志"中仅载指南车、记里车等)

南宋许克昌《明州新造莲花刻漏记》:"治谯门旧有水称则昼夜漏之,长岁久远,弊不可取信……冶铜为莲花漏。"可见秤漏在地方上至少在明州等州治已作为日常计时仪器,使用已较普遍。

宋以后秤漏未见用于天文测量及民用中,可能因其管理比较繁复,而精度只可能与浮漏相等之故。

《隋书・天文志》在述及隋大业间耿询、宇文恺制称水漏器后又说"又做马上漏刻,以从行辨时刻",《初学记》在叙述李兰秤漏后又记有"以玉壶、玉管、流珠,马上奔驰行漏,流珠者,水银之别名"。马上漏刻记载不详,马上奔驰是用水银来计量时




间以代替水，李约瑟称之为停表式漏刻，并推论其构造类似秤漏。

我们认为前者“马上漏刻”系一种漏刻名称，后者说的是用水银为介质制成的漏刻在行动中计时。两者是否为同一物，是否采用秤漏方式计时及它们的结构如何俱未见记载，有待今后进一步研究。

## 第十二节　影响漏刻计时精度因素的认识

### 一、温度

最早对于温度影响的认识仅是从冬令严寒时水凝成冰不能使用的初步认识。即《周礼·夏官司马》挈壶氏条记载的“及冬，则以火爨鼎水而沸之，而沃之”，那时对计时要求不高，仅使水在壶中能正常下滴，即达到要求。

以后随着对漏刻计时精度要求的提高，认识逐步深入。东汉桓谭《新论·离事》:“余前为郎，典漏刻。燥湿寒温辄异度，故有昏明昼夜。昼日参以晷影，夜分参以星宿，则得其正。”则是已认识到因温度变化而致漏刻计时产生快慢这一因素。沈括《梦溪笔谈》:“下漏家常患冬月水涩，夏月水利，以为水性如此。”沈括这段文字虽是讨论日长变化，但不同季节水流快慢确是已被认识为影响漏刻的重要因素。他在《浮漏议》中说:“冬设煴燎，以泽凝也。”这也说明为保证计时精度采取的保温措施。

为解决水因温度不同导致漏刻计时的误差，一般说来在尽量使环境及水温变化小的前提下可以采取两种方法:①调节漏刻出水孔的大小，控制流速;②在不同季节(温度不同)采取百刻长度不同的刻箭，即夏季水流快时用的刻箭百刻(及每刻间距)总长度长一些的刻箭;反之冬季用稍短些的刻箭。由于这些变化值不大，百刻长度稍有不同，而刻箭的外形长度可以是一样的。这样每支箭百刻长度，可以是通过实测确定。后一方法远较调整水流速度方便和准确。





问题在于，现今我们从文献中，能够看到的古代刻箭图式及使用的规定，导致了否定上述第二种可能的结果。据北京图书馆藏士礼居藏《铜壶漏箭制度·准斋心制几漏图式》中记载的“箭长三尺六寸，径四分，面各为二十五刻，昼夜四易，而百刻同”，“箭总二十五支，每气用上下二箭，二至各用一箭，而始终之，总太史四十八箭之法也”说的是每昼夜浮沉 4 次，每次全程为 25 刻(每天用同一支箭)，每气分别用上、下二箭，共 25 箭。(以上为《铜壶漏箭制度》中宋韩仲通的刻箭)。《准斋心制几漏图式》:“箭分两面，自卯至酉为昼，自辰至卯为夜，下卯酉之余刻，以备昼夜长短之候”，“定数二十有五箭，如冬至后第一箭顺数用之，夏至后自第二十五箭逆



数用之”。

可知，全年共用 25 箭，冬夏至各用 1 箭，其余每节气各用 2 箭，且每箭用于一年中昼夜长度相同的对称季节中，即每箭在一年中应用两次。每一箭又分为上、下箭。

《铜壶漏箭制度》中给出各箭使用的日期说明，我们抄出两例：

(1)“百刻冬至上箭，此箭独用”，“日出辰一刻”，“日入申七刻四十分”，“昼四十刻，夜四十刻”，“每更十一刻”，“每点二刻”；

(2)“百刻立春上箭，立冬上箭同用”，“日出卯六刻五十分”，“日入酉一刻五十分”，“昼四十五刻，夜五十五刻”，“每更十刻，每点二刻”。

《准斋心制几漏图式》给出的一年中 25 支箭使用的日期，全部给出如下：

第 1 箭，自冬至用至小寒后 4 日，昼 38 刻，夜 62 刻。

第 2 箭，自小寒后 5 日用至大寒前 1 日；自大寒前 4 日用至冬至前 1 日；昼 39 刻，夜 61 刻。

第 3 箭，自大寒日用至大寒后 5 日；自小雪后 1 日用至大雪前 5 日。昼 40 刻，夜 60 刻。

第 4 箭，自大寒后 6 日用至立春前 3 日；自小寒后 7 日用至小雪日。昼 41 刻，夜 59 刻。

第 5 箭，自立春前 2 日用至立春后 3 日；自立冬后 2 日用至立冬后 7 日。昼 42 刻，夜 58 刻。

第 6 箭，自立春后 4 日用至雨水前 6 日；自立冬前 4 日用至立冬后 1 日。昼 43 刻，夜 57 刻。

第 7 箭，自雨水前 5 日用至雨水前 1 日；自霜降后 2 日用至立冬前 5 日。昼 44 刻，夜 56 刻。

第 8 箭，自雨水日用至雨水后 5 日；自霜降前 1 日用至霜降后 4 日。昼 45 刻，夜 55 刻。

第 9 箭，自雨水后 6 日用至惊蛰前 5 日；自霜降前 6 日至霜降后 4 日。昼 46 刻，夜 54 刻。

第 10 箭，自惊蛰前 4 日至后 1 日；自寒露后 3 日至霜降前 7 日。昼 47 刻，夜 53 刻。

第 11 箭，自惊蛰后 2 日至后 6 日；自寒露前 2 日至后 2 日。昼 48 刻，夜 52 刻。

第 12 箭，自惊蛰后 7 日至春分前 4 日；自寒露前 8 日至前 3 日。昼 49 刻，夜 51 刻。

第 13 箭，自春分前 3 日至后 1 日；自秋分后 3 日至后 5 日。昼夜各 50 刻。




第14箭,自春分后2日至后7日;自秋分前3日至后2日。昼51刻,夜49刻。

第15箭,自清明前7日至前2日;自秋分前8日至前4日。昼52刻,夜48刻。

第16箭,自清明前1日至后3日;自白露后1日至后6日。昼53刻,夜47刻。

第17箭,自清明后4日至谷雨前6日;自白露前5日至白露日。昼54刻,夜46刻。

第18箭,自谷雨前5日至谷雨日;自处暑后5日至白露前6日。昼55刻,夜45刻。

第19箭,自谷雨后1日至后6日;自处暑前1日至后4日。昼56刻,夜44刻;

第20箭,自谷雨后7日至立夏前3日;自处暑前7日至前2日。昼57刻,夜43刻。

第21箭,自立夏前2日至后4日;自立秋后2日至处暑前8日。昼58刻,夜42刻。

第22箭,自立夏后5日至小满前4日;自立秋前5日至后1日。昼59刻,夜41刻。

第23箭,自小满前3日至后7日;自大暑后3日至立秋前6日。昼60刻,夜40刻。

第24箭,自芒种前7日至夏至前1日;自处暑后7日至大暑后2日。昼61刻,夜40刻。

第25箭,自夏至日至小暑后6日。

可见箭在昼夜长度对应季节是兼用的。而使用同一箭的两个时期,在一年里温度可相差甚大。我们给出开封、杭州的月平均气温(见表12—2)。[①]





表12—2 开封、杭州的月平均气温(℃)



| 地点 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 全年平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 开封 | —1.2 | 2.2 | 8.0 | 14.6 | 21.3 | 25.8 | 27.7 | 25.9 | 21.4 | 15.8 | 8.5 | 2.3 | 14.4 |
| 杭州 | 4.0 | 5.3 | 9.7 | 15.3 | 20.5 | 24.7 | 28.3 | 28.0 | 23.8 | 17.7 | 12.1 | 7.0 | 16.4 |

例第14箭,第一段使用期在3月下旬,第二段使用日期在9月中下旬,平均温度相差在10℃以上。还有温度相差更大的前后两段日期。在温度相差甚大的两段日期,共用一支刻箭,其主要和唯一的理由是这两段时间的昼夜长度相等,而没有考虑温度采取每刻分划间距不同的办法。华同旭在《中国漏刻》第二章第三节

① 中国科学院紫金山天文台、地球物理所,合编:《天地年册》,丙第8页,1952年。



“换箭原因”中提出的百刻长度采取随温度变化的观点，唯一可能成立的理由是上述记载的刻箭制式因这两种漏刻俱系民用，精度不高，得不到反映，因而不用此法。华氏的论点似尚可进一步探讨。

## 二、水质的要求

漏刻的供水壶下滴水流的流量，与液体的黏滞系数及密度有关，它们除了随温度而变化外，不同的水源由于所含矿物质的不同在同一温度下黏滞系数及密度亦不同。操作漏刻时，可行的办法是采取同一水源，沈括在《浮漏议》中已指出“必用一源”、“一井不可他汲”、“陈水不可再注”。即使用同一水源还要防止尘埃的影响。孙逢吉《准斋心制几漏图式》中指出：“装水之法，遇早以虑水筛搭于壶口……滤入壶中”，用水需经过滤，又说：“器不洗濯，则埃壒不除。水不筛滤，则尘垢成积。或有滞滤，当以猪发透之。”“随水校定功在一窍芫，孔窍微细仅通丝发”。“或有垢滞只可用猪发穿透，切不可用竹木与针动及窍眼，才略有分毫侵损，便成废器，切宜慎之”。详细说明了漏孔之细微精密，遇尘埃堵塞只能以猪发去穿通。

为避免减少供水壶壶底部沉积的尘埃杂质堵塞出水孔，采取了出入孔设在距壶底一定高度处和应用虹吸管渴乌汲水的办法。前者汉代出土漏壶除兴平铜漏外皆已采用，后者在唐吕才的多级补偿漏刻中也已使用，也许出现得更早些，因东汉张让已发明了渴乌。东汉张衡的漏刻的出水管也有人认为即系采用了渴乌泻水方式。

# 第十三节　百刻与十二时辰制



我国在周以前，就使用把 1 天均匀分为 100 刻的百刻计时制。是世界上最早使用等间距计时制的国家。在第二节中已有介绍。

本节介绍漏刻刻箭上的百刻分划及十二时辰制分划两者的关系。它们的具体使用则系天体测量学中的问题。

## 一、十二时辰制的由来

古代，在大量的日常生活、生产活动中，对于一天中时间的划分、称呼，在白天是根据太阳光线照射情况及一些自然现象确定的。如日出、日中、日入、朝时、夕时、鸡鸣、薄暮、黄昏等；夜间活动少，比较简单。

西汉时，史书中对时刻的称呼，是百刻制与自然特征计时制并用的时期。如《汉书·武五子昌邑王传》：“夜漏未尽一刻，以火发书，其日中贺发，晡时至定陶。”

这条记载对同一件事前半段用百刻制，后半段用自然特征计时制，晡时在下午三四点钟，前者记得准确，后者则粗略。更多的是仅用自然特征计时制。《汉书·武五子广陵王胥传》："奏酒至鸡鸣时罢"；《后汉书·隗嚣传》："至昏时遂溃围"；《后汉书·耿弇传》："人定时，步果引去"；《后汉书·皇甫嵩传》："夜勒兵，鸡鸣驰赴其阵，战至晡时大破之"等。这种计时名称开始时不统一，划分也少，后来渐趋统一，名称划分也多起来。西汉初刘安主编的《淮南子》中对于白天的划分已有 15 种：晨明、朏明、朝明、早食、晏食、禺中、正中、小迁、晡时、大迁、高舂、下舂、悬车、黄昏、定昏。这 15 种名称据《淮南子·天文训》都有说明，如，近正午的禺中定义为"日至于衡阳，是为禺中"。正中定义为"至于昆吾，是谓正中"；衡阳、昆吾都是在南方的山名。白天时间区分得愈细，就愈需精细地描叙当时的太阳位置。

把太阳位置以方位来标记，必然比衡阳、昆吾这类标记更为准确。《汉书·翼奉传》："乃正月癸未，日加申，有暴风从南来"。翼奉是汉元帝(前 48—前 33)前后时人，公元前 100 年前后或更后些成的《周髀》记有"冬至夜极长，日出辰而入申；夏至昼极长，日出寅入戌"。十二地支代表方位，子为北，顺时针计向东依次为丑、寅、卯(东)、辰、巳、午(南)、未、申、酉(西)、戌、亥。十二地支又通称十二辰，《周礼·冯相氏》疏："十有二辰谓子丑寅卯之等"。方位按十二辰次序排列，又称辰次，后即以日在某辰次之名，称某辰次之时，此即时辰之由来，时辰者在某辰也。"日加申"、"时加于卯"指太阳方位在申(西偏南)、在卯(东)时的时刻。由于方位在地平圈上量度，而时间在赤道上量度，这种太阳方位计时法也是一种不等间距计时制，但毕竟比以前的自然特征计时制要准确。

由日加申、时加于卯而演化为申时、卯时当是合理的过程。



史书《南齐书·天文志》开始有子、丑……亥时的记载，南齐时在公元 479 年至 562 年。《北齐书·南阳王绰传》始有辰时(丙时)的记载："以五月五日辰时生，至午时，后主乃生"，北齐时在公元 550 年至 577 午。

二十四时辰，以十二支四维八干合为 24 个表示时刻的名称。四维在《淮南子·天文训》中定义为"东北为报德之维，西南为背阳之维，东南为常羊之维，西北为递通之维"，也有以卦的艮表东北，巽表东南，坤表西南，乾表西北。八干为甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸。24 个方位(时辰)排列的顺序为：自北起顺时针方向排列子(北)方位 0°，癸 15°，丑 30°，艮(东北)45°，寅 60°，甲 75°，卯(东)90°，乙 105°，辰 120°，巽(东南)135°，巳 150°，丙 165°，午(南)180°，丁 195°，未 210°，坤(西南)225°，申 240°，庚 255°，酉(西)270°，辛 285°，戌 300°，乾(西北)315°，亥 330°，壬 345°，子(北)0°。

以上资料告诉我们，公元 502 年以前已发展成十二时辰制；据《古今图书集



成·历法典》，卷三十六所载日食有"梁中大通五年(533)癸丑四月，己未朔食在丙"，即在公元533年时已有二十四时辰的记载。

十二时辰制的建立，反映了民用对计时的要求，因为使用百刻计数，即使分成昼夜漏及使用上水若干刻，未尽若干刻等计数方法，数值终究太大，使用不便。十二时辰计时制在开始时是不均匀间距的，只是在把十二时辰与百刻计时制配合使用后，才成为均匀计时制。

二十四时辰制的使用不及十二时辰制广泛，在魏晋南北朝的天象记录中常见，但到唐代以后仅见于术士择葬中使用①。

## 二、十二时辰制与百刻制的配合

梁武帝是第一位试图把十二时辰制与百刻计时制配合的人。《隋书·天文志》："梁天监六年(507)，武帝以昼夜百刻分配十二辰，辰得八刻，仍有余分，乃以昼夜为九十六刻，辰有全刻八焉。"因为100不能被12整除，为了使每辰为整数的刻，不外改变100或12这两个数值。可是两者都是经历了长期的发展过程，且十二地支，在《淮南子·天文训》、《史记·律书》、《汉书·律历志》和《释名》中的解释，意味着万物的发生、成熟到衰减以及具有阴阳消长和五行推移的意义，不能擅改。而百刻计时制使用日久，若改变，则对千百年用于天文历法等的大量数据难于处理。另外祖宗之制不可改也是一个主要原因。

这样，每辰8刻，有余数，不便，就把百刻改为96刻，每辰8刻整。只使用了30年左右，于梁武帝大同十年(544)又改为108刻，到梁文帝天嘉(560—565)又改回为百刻。即每时辰为$8\frac{2}{6}$刻。《畴人传》中后晋马重绩传，马于天福三年(938)奏："夫中星昼夜百刻，分刻为十二时，每时有八刻三分之一。"明邢云路《古今律历考》卷四十七："元史论百刻，日出为昼，日入为夜，昼夜一周为百刻，以十二辰分之，每辰得八刻三分之一，无问南北，所在皆同"。长期以来都是如此。




每时辰中的$8\frac{2}{6}$刻如何安排，元赵友钦《革象新书》时分百刻条"昼夜十二时，均分百刻，一时有八大刻二小刻，大刻总九十六，小刻总二十四，小刻六准大刻一，故共为百刻也。上半时之大刻四，始曰初初，次初一，次初二，次初三，最后小刻为初四；下半时之大刻亦四，始曰正初，次正一，次正二，次正三，最后小刻为正四"说得十分清楚(图12—11)。其中初四、正四为小刻等于1/6大刻，其余为大刻。

紫金山天文台陈列的明制仿元浑仪，百刻环上的刻度，略有不同，如图12—12。

① 王立兴：《纪时制度考》，油印报告本。

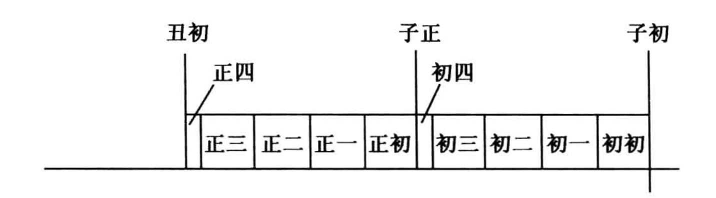



图 12－11 《革象新书》百刻安排

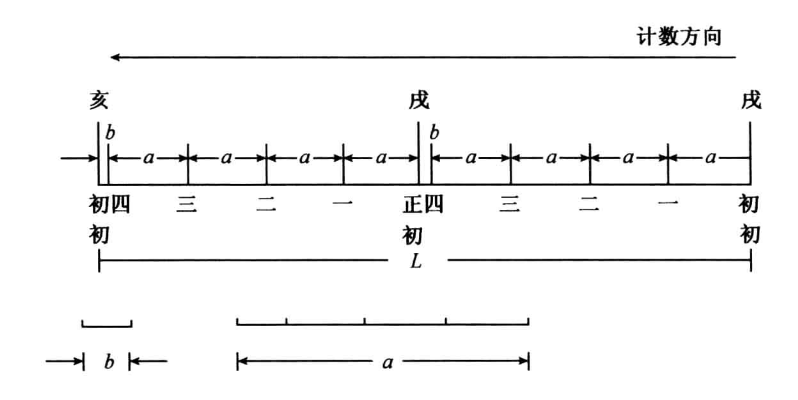



图 12－12 明仿元制浑仪上百刻环的分划

$L$ 为一个时辰的弧段，共分 300 个分划。

$a$ 内包含三个中间距（每个中间距内分 10 个分划）及一个小间距（内分 6 个分划），$a$ 内共 36 个分划。$b$ 内共分 6 个分划，$b$ 即 $a$ 内的小间距。





## 第十四节 古代的时间管理工作

中国古代对于时间工作十分重视。因为：①它是礼仪、祭祀、朝会等一切国家政治活动据以按时进行的标准；②它是天文观测的重要数据，而我国的天文工作特点就是始终是处于国家直接管辖之下的；③它是民用作息的标准及军事应用。

周代就设有分工管理白天、夜间、黎明时间的官员挈壶氏、司寤氏及鸡人。“司寤氏掌夜时，以星分夜，诏夜士夜禁”，“鸡人夜呼旦，以嘂百官。……凡国事为期，则告之时”，他们都是配合掌管计时设备漏刻的挈壶氏一起工作的。挈壶氏的工作当初则是以军事需要为目的。它的编制“挈壶氏：下士六人，史二人，徒十二人”，已具一定规模。

《诗 · 齐风》记载齐襄公（前 697—前 686）时“朝廷兴居无节，东方未明，而召群臣至，使之颠倒衣裳，不顾时之早晚”。帝王不按作息时间，随意召集臣下，被制成



民歌，受到讽刺，可见时间的重要已被充分认识，并早已用于实际。

前已提到《史记》中记载齐景公时将军司马穰苴与监军庄贾约会军营的事，是史籍中具体叙述圭表漏壶测时计时的较早资料。一支强大的军队需要计时工作是保证作战胜利必不可少的条件。

秦时国家设太子率更一职掌管漏刻，汉初因之。是千石级别的中上级官员。汉在太常下设太史令主管漏刻，下设太史待诏 37 人，其中“四人日时”具体管漏刻时间。汉代皇城、宫殿都以漏刻计时安排巡夜警卫及作息。《旧汉仪补遗》卷下：“昼漏尽，夜漏起，宫中卫宫城门击刁斗，周庐击木柝”，“夜漏起中黄门持五夜相传授”。主要官署也以漏刻掌握作息时间，《汉旧仪》卷上：“承相府官奴婢传漏及起居。”《汉杂事》“鼓以动众，钲以止众，夜漏尽，鼓鸣则起，昼漏尽钲鸣则息”，说得更清楚，作息是以漏刻的昼夜漏结束（开始）为准的。近年来出土的多具漏刻，均为汉代之物，足以见得当时漏刻已不罕见，用途自当较为普及。

据《新唐书》百官制，唐代在秘书省下设太史局（屡经改制，有时称太史监、浑天监、浑仪监等）主管天文历法，其下专管计时的官吏有挈壶正 2 人，司辰 19 人，漏刻典事 16 人，漏刻博士 6 人，漏刻生 360 人，典钟 280 人，典鼓 160 人，这是一支庞大的专职队伍，担当了相当规模的计时工作。同时设太子率更令一职管理“宗族次序、礼乐刑罚及漏刻之政令”。宫门的启闭俱以漏刻为准，“宫门郎掌内外宫门管钥之事，凡宫殿门，夜漏尽击漏鼓开，夜漏上水一刻击漏鼓闭”。每天皇帝上朝与百官议事都据漏刻准确规定时间，唐宪宗（806—820）设百官待漏院，作为官员等候朝见的场所，这一制度一直相承，宋王禹偁（954—1001）的《待漏院记》：“朝廷自国初因旧制，设宰相待漏院于丹凤门之右……金门未辟，玉漏犹滴。”唐代在京城外地方的府、州治，也大多设有漏刻，杜牧《池州造刻漏记》中就提到在池州、宣城等地都有当时漏刻家王易简造的漏刻。

据《宋史·律历志三》，宋代在司天监设挈壶正 1 人，管理钟鼓漏刻，元丰改官制后司天监改为太史局隶属秘书省。在文德殿之东庑设置刻漏及秤漏，并在宫殿内建钟鼓楼，进行一套严密的报时工作。白天，以象牙制的 7 面金字牌作为自卯至酉 7 个时辰报时的依据，以木制契牌作为放鼓的依据。在此期间，每刻击 1 次鼓，击第 8 次鼓后由当值官员进牙牌，这个时辰余下的 2/6 刻时间中，由鸡人唱赞后击鼓 15 声为正。昏后，鸡唱后发出放鼓木契，击鼓 100 声，然后下漏，此时夜漏即开始计数。夜间，每更击鼓，每更分为 5 点，每点击钟。放鼓契发出后，禁门外即击鼓，然后各衙门亦击鼓；止鼓契发出后，各处即停止击鼓。这样在京城内就构成了以皇宫漏刻为准的、全城的统一时间系统。此外，在长春门外的玉清宫、景灵宫、会灵观、祥源观及宗庙陵寝等处都各置更鼓。宋代地方的漏刻比前更为普及，燕肃造

莲花漏后各处府、州治，不少都安有莲花漏。

辽司天监设挈壶正、司辰、刻漏博士、典钟、典鼓等职；金司天台设漏刻科；元太史院下设挈壶正、司辰郎进行漏刻和时间管理工作。《元史·齐履泰传》："又请重建鼓楼，增置更鼓并守漏卒，当时遵用之。"

明、清两代对于京师的时间工作，大体如旧。明钦天监下设漏刻科，有五官挈壶正、五官司辰、漏刻博士等职。清代设的官员与明代基本相同，另设天文生、阴阳生若干名。对于时间标准向民间的传递，《明会典·钦天监》："凡定时刻有漏，换时有牌，报更有鼓，警晨昏有钟鼓。其器皆置于谯楼。"明代宫中亦设漏刻，刘若愚《明宫史·宫殿规划》："殿之后为刻漏房，铜壶滴漏在此。凡八刻水交一时，直殿监官抱时辰牌，赴乾清门里换之，牌长尺余，阔数寸，石青地金字某时。"(清人著作，故有乾清门，1 时为 8 刻等说法)。元、明、清在北京的观象台中设有安置漏刻的刻漏房；在地方的漏刻，今只存有当时安放在广州的元延祐漏刻。明末清初以后，西洋钟表传入中国，漏刻在民间的计时，就不那么重要了。清宫中的乾隆、嘉庆两套漏刻也已成为礼器。

清中叶，将百刻改为 96 刻，每小时 4 刻，每时辰 8 刻。即今之计时标准。

辛亥革命后，用于夜间计时的五更计时制，仍在民间应用了相当一段时间。







# 第十三章 浑 仪

中国古代测量天体位置的主要测量仪器。根据浑天说宇宙论原理设计，由多个相应于天球上坐标圆圈的环套叠构成。

我国古代常把浑仪和演示天球周日旋转的天球仪——浑象（又称浑天象）通称浑天仪。

最早的浑仪为西汉落下闳制造，随着天文学的发展，对于天体测量仪器的要求不断提高，浑仪在实践中不断改进，一直使用到清末，为我国的天文、历法工作作出了贡献。

## 第一节 天体测量学发展对仪器的要求

天文学是自然科学最古老的学科之一。在认识宇宙的过程中，人们最早是从天体在天空中的位置及这些位置随时间变化的规律，找到季节的规律而为农业和畜牧业服务。研究天体位置及变化与地球上季节的关系，年、月、日时间的安排，地面上位置及方位等的科学，就是天文学最古老的分支天体测量学的内容。

由于地球自转、公转引起的天体的周日视运动，周年视运动，以及行星、月亮、彗星等天体本身明显的运动，使得人们在地球表面上观测到的天体位置有着种种规律。例如，太阳视位置在一天中的变化，在一年中的变化，恒星位置在一夜中及长期的变化等，促使人们尽可能精确地测量这些天体的位置及变化数值。开始时应用肉眼观测它们在天空中的位置，只能得到粗略的位置，随后应用圭表虽可以测定它们的某些位置（如中天），但在其他方位上的位置就很难测准。只是有了可以在任何方位上瞄准天体及具有测角能力的仪器后才使观测精度提高，所得结果准确。

这期间经历了长期的发展过程，由原始的测量仪器发展为浑仪的雏形，经不断改进才成为日趋完善的浑仪，直到被近代带有望远镜及测微器的现代仪器所取代。

浑仪的发展过程是被天体测量学上提出的不断增高的要求推动的。反过来它又推动了天体测量学的发展。这是所有天文仪器发展的共同规律。

作为古代主要的天文仪器圭表（及以后发展的日晷）、浑仪、漏刻之一的浑仪，在中国古代天文学中有着极为重要的地位。





在它的发展过程中，从其初具雏形到每一阶段的改进发展都与中国古代天文学的各项重要成就密切联系。

## 第二节　浑仪的前身和雏形

浑仪作为能够直接测量天体在天空中位于天球坐标系中的坐标及测量两个天体间坐标差或角距离的天体测量仪器，并不是一开始就已具备这些基本功能的，它经历了漫长的发展过程。

按史籍浑仪一词，最初出于明孙珏编纬书《古微书》卷九所辑西汉末东汉初的纬书《春秋纬・文曜钩》："唐尧即位，羲和立浑仪。"[1]当然这不是说那时出现了浑仪。

有关浑仪的较早的记载有：

①《史记索隐》引《益部耆旧转》："闳字长公，明晓天文，隐于落下。武帝征待诏太史。于地中转浑天，改颛顼历，作太初历。"

②《隋书・天文志上》"浑天仪"条："今案虞喜云'落下闳为汉孝武帝于地中转浑天，定时节，作泰初历'或其所制也"。

这两条仅是说落下闳在制太初历时用过浑天。

③西汉末扬雄《法言・重黎》："或问浑天。曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。"是说落下闳制作了一具浑天。此处浑天似即指浑仪，但不够明确。

④《后汉书・张衡传》："特征拜郎中，再迁为太史令，遂乃研窍阴阳妙尽璇玑之正，做浑天仪"。张衡的浑天仪，是一具浑象。当时把观测仪器的仪，和演示天象的象，统称浑天仪。





在我国浑仪发展史上明确记载有结构的是前赵史官丞南阳孔挺于光初六年(323)造的铜浑仪。《隋书・天文志上・浑天仪》："梁华林重云殿前所置铜仪……检其镌题，是伪刘曜光初六年，史官丞南阳孔挺所造，则古之浑仪之法者也。"

天文史学界讨论浑仪系何人于何时发明这一问题，有两种说法，一种认为在秦汉以前，另一种认为系汉落下闳发明的。尚无定论。

我们认为由于浑仪开始时是由雏形逐步发展而来，主要还在于了解其过程。又由于史籍记载所用名词的不严格(也许是记载不完整)，致使一些问题的讨论一时难于确切。

① 《隋书・天文志》,"浑天仪"条中亦引此句。



## 一、璇玑玉衡的讨论

璇玑玉衡的解释有两种，一是说它是北斗七星，一是说它是浑仪或浑仪的前身。

《尚书·舜典》："在璇玑玉衡，以齐七政。"是这两种解释的出处。由于记载过于简略，后人看法不一。

认为璇玑玉衡是北斗七星的，有：

《史记·天官书》引用时认为"北斗七星，所谓'璇、玑、玉、衡以齐七政'"。

《索隐》引《春秋纬·运斗枢》："斗，第一天枢，第二璇，第三玑，第四极，第五衡，第六开阳，第七摇光。第一至第四为魁，第五至第七为杓，合而为斗。"

《文曜钩》："斗者天之喉舌，玉衡属杓，魁为璇玑。"

《汉书·天文志》的说法，与《史记·天官书》全同。

《后汉书·天文志》刘昭注《墨经》曰："璇玑者，谓北极星也，玉衡者，谓斗九星也。"斗九星是很古老的概念，约公元前 4100 至公元前 1500 年，在黄河流域的纬度上，斗柄连下方向的玄戈(牧夫 $\lambda$)、招摇(牧夫 $\gamma$)也在恒显圈上[①]。

《晋书·天文志·上》：天文经星"魁四星为璇玑，杓三星为玉衡"。

《周髀算经》则称北辰皆为璇玑。

以上是把璇玑玉衡作为北斗七星或北极星的星象说。认为是仪器的有：

《史记·天官书》索隐引"东汉马融云：'璇，美玉也；玑，浑天仪可转旋，故曰璇玑；衡其中横筒。以璇为玑，以玉为衡盖贵天象也。'郑玄注《大传》言浑仪其中筩为璇玑，外规为玉衡者是也"[②]，《晋书·天文志上》仪象：对于七政引"郑玄谓以玉为浑仪也"。





可见在东汉即对璇玑玉衡有两种不同的解释。解释为星象的是按北斗七星名称直叙，而解释为浑仪的则有所见解。这种分歧以后继续引起争论，但主张仪器说的占了优势。

《隋书·天文志上》浑天仪："所言璇玑者，谓浑天仪也"，"马季长创谓玑衡为浑天仪。郑玄亦云：其转运者为玑，其持正者为衡，皆以玉为之。七政者，日月五星也，以玑衡视其行度，以观天意也。故王蕃(三国时吴国天文学家曾制浑仪)云：浑天仪者，羲和之旧器，积代相传，谓之玉衡。"《宋书·天文志》中更详细地引了王蕃的见解："斯器设在候台，史官禁密，学者寡得闻见，穿凿之徒，不解玑衡之意，见有七政之言，因以为北斗七星，构造虚文，托之以谶纬，司马迁、班固犹尚惑之，郑

① 竺可桢：《二十八宿起源之时代与地点》，《思想与时代》，1944 年，第 34 期。

② 《后汉书·天文志上》注转引。

玄……改正其说，圣人复出，不易斯言矣。蕃之所言如此。"意思是因仪器设在皇家天文台，对外保密，因而有人不了解玑衡的内容，胡乱猜想，认为璇玑玉衡就是北斗七星，都是受了谶纬的影响，连司马迁、班固都受到迷惑。把对方见解都一言归之于受谶纬神学的影响，这一分析太过偏颇了。

唐著名天文学家则认为是浑天仪。《新唐书・天文志一》："贞观初，淳风上言：舜在璇玑玉衡，以齐七政，则浑天仪也。"

宋代天文学家苏颂在他著的《新仪象法要》中写道"六合仪有金浑纬规……即舜璇玑玉衡之遗法也"，"右四游仪舜典曰璇玑"，"望筒即舜典所谓玉衡也"。

宋代著名科学家沈括在《梦溪笔谈》卷下《极星位置之测定》："天文家有浑仪，测天之器，设于崇台，以候垂象者，则古玑衡是也"，《宋史・天文志一》载有他的浑仪议的第 5 条述及玑衡；第 9 条"旧法规环，一面刻周天度，一面加银钉。所以施银钉者，夜候天晦，不可目察，则以手切之也。古之人以璇为之，璇者珠之属也"。则是认为璇是镶嵌于玑环上的钉子，以便夜间观测看不到刻度时，以手触摸感觉之用。

唐、宋两代我国天文学家及天文仪器研制的工作达到历史上很高水平。上述几位又都是天文学家兼浑仪制造专家。他们对于璇玑玉衡是仪器的解说，虽无严格论据，但在两种解释之间选择仪器说似较为合理。

璇玑玉衡是浑仪以前的一种天文测量仪器，或者说是其雏形。

## 二、从璇玑玉衡到浑仪

认为璇玑玉衡是一种测量仪器的，在《隋书・天文志》中有这样的记载："案虞书'舜在璇玑玉衡，以齐七政'则《考灵曜》所谓观玉仪之游，昏明主时，乃命中星者也。璇玑中而星未中为急，急则日过其度，月不及其宿。璇玑未中而星日为舒，舒则日不及其度，月过其宿。璇玑中而星中为调……所言璇玑者，谓浑天仪也"，由此可见它是用来观测恒星中天的仪器。



1977 年在安徽阜阳发掘了汉初汝阴侯夏侯婴之子夏侯灶的古墓，墓主死于文帝十五年(前 165)，出土的一件二十八宿圆盘，可供我们探讨天文仪器作参考。共有上、下两盘，互相叠置，中心有圆孔相通。上盘略小，底径 23 厘米，面径 15 厘米，厚 1.7 厘米，下盘面径同上盘底径，底径 25.6 厘米。上盘边缘斜面上在全圆周上有许多小孔，据残存部分来看，是按一周 $365\frac{1}{4}$度分布的。上盘中央画有 7 个圆点代表北斗七星，下盘斜面上按逆时针方向刻有二十八宿名称及其距度。看来它与测量角度有关。如果在盘中心孔中插一直竿，在上盘边缘小孔中亦插小竿，则可用于瞄准天体。




观测时，若将圆盘置于赤道平面内，则可测量赤道附近的天体；若将圆盘竖直安置，瞄准北极，再瞄准子午面内一天体，即可得天体的去极度。使用平面圆盘测量器就可以得到天体的入宿度和去极度。根据《周髀算经》中介绍的以杆（表）及绳测定二十八宿距度的方法，测得的不是赤道度数而是方位角，此法显然克服了这一缺点。

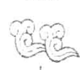
这种圆盘测角工具可能与璇玑玉衡有关。它可能是浑仪的早期形式。

从平面的测角工具发展到立体的浑仪，中间还可能经历了一个阶段，就是在实际工作中需进行两次观测才能得到天体的坐标比较麻烦。只有使仪器能在赤经、赤纬两个坐标方向转动，才能一次达到这一目的。

《续汉书·律历志中》贾逵论历："案甘露二年大司农中丞耿寿昌奏，以圆仪度日月行，考验天运状……赤道使然，此前世所共知也。如言黄道有验……比用赤道密近，宜施用。"《晋书·天文志上》仪象："暨汉太初，落下闳、鲜于妄人、耿寿昌等造圆仪以考历度。后至和帝时，贾逵系作，又加黄道。至顺帝时，张衡又制浑象。"说的是甘露二年（前 52）耿寿昌用的是圆仪；《晋书》则认为落下闳与耿寿昌用的都是圆仪，到和帝永元十五年（103）在贾逵的再次提出后加上了黄道，顺帝（126—144）时张衡制作了浑象。沈括在浑仪议中也说过"至落下闳制圆仪"。

可以认为从落下闳（前 104）的浑天到耿寿昌（前 52）的 50 年中使用的都称圆仪，落下闳的圆仪构造可能已是从平面圆盘进展为立体的圆仪，从平面到立体是一大改革，圆仪就是简单的浑仪——实际上的浑仪也一直在不断改进——它至少具有赤道圈和赤经圈，再过了 150 年贾逵加上黄道就更完善一些了。

落下闳的仪器是为了制定太初历；耿寿昌因长期观测日、月运动，由此发现日月运动按赤道计算是不均匀的，因为日沿黄道，月则大致沿黄道运行，因黄赤交角而致。因而他提出测日、月运行，应该用黄道的建议，过了 50 年才在贾逵的再次提出后制成黄道铜仪。按《后汉书·律历志中》贾逵论历："案逵论，永元四年也。至十五年七月甲辰诏书造太史黄道铜仪"；《后汉书·贾逵传》：贾逵于"永元十三年卒，时年七十二"则是贾逵仅继耿寿昌后再次提出，时在永元四年（92），逵于永元十三年（101）去世，诏造黄道铜仪则是他去世后两年的事了。

最初的测角仪器有璇玑玉衡（圆盘测角器）、圆仪、黄道铜仪。璇玑玉衡形如二十八宿圆盘，可置于子午面、赤道面或任何平面内以测量天体间的角距，它的瞄准设备也许比竖立的觇标精确些，就是苏颂在《新仪象法要》中说的"望筒即舜典所谓玉衡也。亦谓之横萧，李淳风曰玉衡，梁令瓒曰玉衡望筒，韩显符曰窥管"。苏明确认为望筒即玉衡，并提到李、梁两位著名天文学家、仪器制作专家就以玉衡命名为望筒，代表他们的看法。很可能有一根绕圆心旋转的瞄准管，这要比觇标易于操作

且准确。也许这就是璇玑玉衡的构造。至于观测时如何使盘面保持在所需的平面内,是手持还是以物支承则难于臆测,可能设法使它支靠以保持位置及便于观测更合理些。从这种结构到圆仪的区别是这个圆盘是否能绕极轴旋转。很可能在制成圆仪前,它还逐步发展成有一个绕极轴旋转的支架,它的尺寸可能较大,故落下闳所造的仪器直径达 8 尺完全可能承袭前人的经验,大直径的仪器可以增加分度刻划的精确度和提高窥管的瞄准精度。

也许璇玑玉衡有无支架就是浑仪出现在秦汉以前或汉以后两种不同意见的关键。如已有支架就可能与圆仪相差无几,自可成为浑仪的雏形;如无支架则仍为一平面器具,也就难于把它称为浑仪的一种形式了。

## 第三节　浑仪的基本构造

浑仪的发展过程是不断地完善它的功能,它的部件由少到多,由简到繁。而在实测过程中又简化及淘汰了不合适的冗件。发展的过程是由天体测量的逐步提高与发展的要求而推动的,反过来发展的仪器又推动了天体测量学的进展。

在讨论浑仪的发展历史,主要是它的结构改革过程中,有必要先将典型的浑仪结构、各个组部件的原理结构,先做一介绍。我们取中国科学院紫金山天文台陈列的一具明仿元制的浑仪作为典型进行基本介绍。

浑仪的结构是由多个环圈组成,每个环圈相应于天球坐标上的一些基本圈。由这些环圈中的若干个环圈联结在一起构成一组部件,一般有 3 组部件。各组环圈的直径略有不同,使各组可以由外至内套在一起,各组均可绕轴回转,最外一组兼作支架则不能转动,而是固定在基座上。另外还有一根瞄准器,可以照准观测的目标——天体。观测时将瞄准器对向所观测的天体,可以在相应的环圈上的刻度分划上读取天体在天球坐标系中地平坐标、赤道坐标及黄道坐标中的坐标值。



古代浑仪除个别用铁铸以外,皆为铜制。则造时需要很高的铸造、机械加工、刻度等工艺技术水平。

浑仪的各组部件都有专门名称,自唐代李淳风开始命名从外向内的三组部件,最外一层称六合仪,中间一层为三辰仪,最内一层为四游仪。以后我们为讨论方便,就以这三个名称来称呼它们,要注意这是唐代的名称,在以前如晋代是不这么称呼的。

### 一、六合仪

浑仪的最外一层环圈也兼作支架。由四环三圈组成。我们把铜制的圆环(环

身呈扁平状，内外径之差大于厚度）即仪器的构件称环，而与它相应的天球坐标系中的基圈称圈。四环三圈就是由代表3个基圈的4个圆环构成（图13－1）。

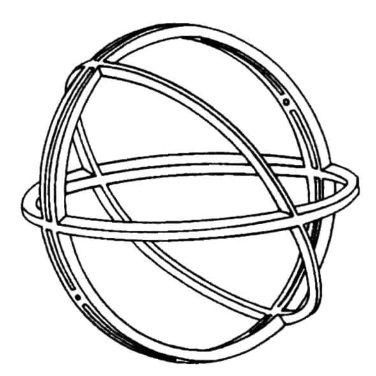


图13－1　六合仪环规图[①]

①水平放置，代表地平坐标系中地平圈的地浑环。环的上面刻有方位标志分划，用来表示被观测天体在地平坐标系的方位角。

②与子午圈平行的两个平行并列（间隔小）的子午双环。双环之间留有一定宽度的缝，以使从瞄准器向子午圈方向观测时，视线可从缝中通过不被遮拦。刻有圆周刻度。

③平行于天球赤道坐标系中天球上天赤道圈的赤道环，又称天常环，或百刻环，因为时刻是在这环上量度及读取的。

上述4环内外径都相等，互相在交点处联结固定。在子午双环的北、南两天极方向处联结，并各开小圆孔，以便使中、内两层环系的轴可以穿在孔内。这两个小圆孔中心的连线就是天球的极轴（旋转轴）。地浑环置放在基座上，明浑仪是在四周由4条装饰性的龙柱托住，由于仪器重量大，在子午环下端也有直柱支撑。为了使仪器定平，使地浑环处于水平位置，在该环上面刻有一圈水槽，将水注入槽内来校平仪器，这是在安装仪器时应用的。由于北极高度等于该地地方纬度，这六合仪三个圈的相对位置需根据安放仪器地方的纬度而定，仪器搬到他处安放，各圈需重新组装调整相对位置。

## 二、三辰仪

浑仪中间一层的环圈系，它们代表天球坐标系赤道坐标中的天赤道圈，两个赤经圈及一个黄道圈。这组环圈外径略小于六合仪的内径（图13－2）。



① 浑仪三个部件图及简仪的赤道经纬仪图，均直接采用郭盛炽《中国古代的计时科学》一书中的插图。

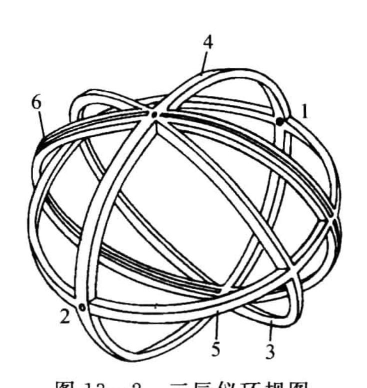



图 13－2　三辰仪环规图

1.北天极枢；2.南天极枢；3.赤道环；4.通过二分点的环；

5.通过二至点的环；6.黄道环

①赤道环，与六合仪中的天常环在同一赤道平面内，天常环固定于支架，而赤道环可以与三辰仪其他环圈一齐绕通过赤道环的圆心且与赤道环平面正交的轴线回转。沿赤道环圆周上刻有全圆的圆心角分划。还刻有二十八宿在天赤道上相应位置的标志。

②黄道环，与赤道环相交成黄赤交角数，两相交点相应于天球上的春分点和秋分点。在黄道环上也刻有二十八宿在天球黄道上相应位置的标志。有的采用如六合仪中子午环那样的平行双环，以观测太阳在黄道上的位置。

③两个赤经环，一个通过春分点、秋分点，另一个通过赤道环上距二分点成直角处的夏至点和冬至点。两环的两个交点即天球南北极。

上述 4 个环在相交处互相固结，联成一体。在两赤经圈交点的天球南北极点处各开小孔。以两根短轴分别插入小孔中，就可使三辰仪整体地在六合仪内绕极轴回转。



## 三、四游仪

浑仪最内一层环圈。由一对靠近的平行双环及一个瞄准器构成。双环的外径略小于三辰仪的内径。使它可在三辰仪中回转(图 13－3)。

这对双环称四游环。双环的每个环在连接直径两端分别用一条与环身等厚的铜板联结，将两环平行安放，中留间距，两条铜板处同一位置，在两铜板条的两端将双环联结，联结处留两小孔。在两铜板条的中央各开一圆孔，这对小孔位于双环的圆心处。一根与双环直径等长的方形瞄准管夹在双环中间，管中点的管壁上各开一孔。从两铜板条的小孔中穿入短的小轴，穿入瞄准管两侧管壁，小轴两端穿过双环中间的两小孔中。瞄准器即可绕双环圆心回转，它的两端则夹在双环中运动。



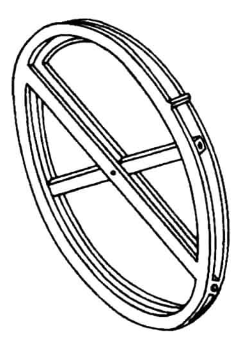


图 13－3　四游仪环规图

将双环两端的小孔，套在浑仪两极点的短轴中，双环连同瞄准管即可在三辰仪内绕南北天极旋转。双环位置如同天球上一个可转动的赤经圈。如此在可旋转的双环之间，再转动瞄准管，即可对准天球上任一方向的天体。

在四游环壁上刻有度数分划，自北天极向南天极方向，沿两个半圆周上刻划。

瞄准管的形状(有的是一根铜标)多为管状，外方内圆，两端各有标的，观测时人眼从一端通过标的，视线穿过另一端标的而与天体三点成一直线。

做天文观测时，转动四游环，可把窥管带向任一天体的赤经圈上；再转动窥管，可以把它指向这个赤经圈上的所欲观测的天体。从四游环上可得到天体的去极度，从外环的赤道环上可以得到这个天体的赤道度数。

上述浑仪的结构在历代均有不同，我们将按发展情况加以讨论。

## 第四节　浑仪的发展



### 一、原始的浑仪

由璇玑玉衡发展成的最初的浑仪，如上所述，是落下闳的圆仪。

扬雄(公元前 53—公元 18)在《法言重黎》中提到“或问浑天。曰落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之”；《晋书·天文志》中把这三人合在一起说“暨汉太初，落下闳、鲜于妄人、耿寿昌等造圆仪以考历度”。

扬雄提到落下闳“营”即制造监制，而没说是他发明的。这好解释：他是在前人基础上改进制造的，仪器的进展大抵如此。由于史料缺乏，我们只能认为在从平面测角仪器进展成为圆仪雏形时，已是类似圆仪那样的在工作时可以搁置或支承而落下闳选其原理加以改进制作而成，由于是为皇帝下令的编历而用，因而落下闳得以有“营之”之名，后人据之而作为他的创造。问题在于这种圆仪的构造如何，有人

据《旧唐书·天文志上》中一行的看法："落下闳运算转历，今赤道历星度，则其遗法也"，认为这种圆仪只有固定在赤道平面内的赤道环及绕该环中心旋转，旋转面与该环平行的瞄准器望筒两部分构成。环边有刻度。用它可以测得天体的赤道度数，二十八宿的相距度数；应用漏刻还可计算日、月、五星等的运行速度。李约瑟在《中国科学技术史》第4卷，第1分册认为"最原始的浑仪很可能是简单的单环，附有某种照准线或照准器，按照需要装在子午面或赤道面上"（中译本408页）。这里装在某一面上应是指照准器连同环一起，也就是环架是固定而不能旋转如同四游仪那样。李志超认为"原始的赤道圆仪可能只是一个固定不动的框架"。① 李鉴澄、李迪则认为：最早的浑仪，叫璇玑玉衡，具有四游仪那样的构造，望筒可以东西、南北运转。②

看来区别在于是否有类似四游仪这种可把瞄准器导向任意方向的装置；相同之处在于观测原理相似，但一种只需一次操作，另一种需两次操作，一种不能测量远离赤道的天体的赤经，需以中天法通过壶漏刻来得到，测量去极度也需中天时才能测定。四游装置在浑仪发展史上确有其特殊重要地位。如果不考虑观测的繁复与简化，从根本原理相同这一点来看，把它们都可称为浑仪的雏形，那么两种看法并无本质的不同。

落下闳造的圆仪，到耿寿昌时又经历了50年，所谓"耿中丞象之"的意义值得讨论，因为落下闳的圆仪缺少使用及结构的资料，而耿寿昌的工作则有文字可寻，以使我们对这仪器的结构与使用能有所了解。

《后汉书·律历志》贾逵论历提到甘露二年（前52）耿寿昌用圆仪测定日、月运行，在不同季节日每行1度月行的度数有的为15度，有的为13度不等，是因黄道与赤道有交角造成的。他制造了一具兼观测、表演显示两用的浑象，即耿中丞象之。《宋书·天文志》："古旧浑象以二分为一度，凡周七尺三寸半，张衡更制，以四分为一度，凡周一丈四尺六寸"，这古旧浑象的制作者应为耿寿昌而非落下闳，以扬雄说法为是。其构造则与张衡的相同，因张衡只是增加了尺寸。这是古代第一个浑象，它不但用于演示，重要的是可用来实地量测黄赤道上度数的关系。其尺寸按二分为一度计，圆周长约7尺3寸多。耿对日、月行速快慢的关系即从此浑象得以证实。也可以说仪象上的黄道是他从实测中归纳出的结果。而那时的圆仪上则还没有黄道圈，一直到贾逵于永元四年（92）论历时也还没有黄道圈，"问典星待诏姚崇、井毕等十二人，皆曰'星图有规法，日月实从黄道，官无其器，不知施行'"。贾逵于永元十三年去世，后2年，永元十五年（104）才诏书造太史黄道铜仪，这已是耿寿




① 李志超：《仪象创始研究》，《自然科学史研究》，1990年第9卷，第4期。

② 李鉴澄，李迪：《中国古代浑仪结构的演变》。



昌认识并提出这一问题以后的150多年了。这就是《晋书·天文志》中所说的:"后至和帝时,贾逵系作,又加黄道"。

贾逵黄道仪的结构因无文字记载,只能推论有一个可以转动的黄道环圈,由于当时没有黄极的概念,黄道环是倾斜地绕着赤极轴旋转的。瞄准器与黄赤道环是脱开的,能照准黄道上任一点。观测时,移动黄道环使与天球上的黄道重合,再转动瞄准器对准欲观测的天体,就可设法在黄道环上读出其黄道度数。使黄道环与天球黄道一致的方法:在白天,在太阳中天时从子午环上读出其去极度,转动黄道环当其在子午环上的交点等于太阳去极度时,太阳即在此点上;在夜间,将黄道环周围的某一星座与天球上相应的星座对应即可。从前者可以得到太阳在黄道上的位置,从后者可测得月亮黄经;根据日月位置可以推算朔望。从日月去极度在朔望日推算日月食。这是黄道仪的测量功能。同时,它也是一种演示仪器浑象,它具有两重功能。

这具太史黄道铜仪最后如《后汉书·律历志》所说,"仪,黄道与度转运,难以候,是以少循其事"。这可能是夜间把黄道环准确调整使与天球黄道一致比较困难,使用不方便,而逐渐地不用它了。当时天文学家欲求天体黄道度数是从测得其赤道度数后,在浑象上量出的。

李志超认为贾逵的太史黄道铜仪上只有黄道环,而去掉了赤道环。因为赤道环会妨碍黄道环的运转。李认为历史上首次在赤道式浑仪上安装黄道环的是唐初李淳风在他的浑天黄道仪上的装置。

## 二、张衡的浑仪

张衡(78—139),中国历史上杰出的科学家、天文学家。浑天说宇宙论的重要著作《浑天仪图注》的作者,以漏水带动的自动浑象漏水转浑天仪的制作者,这些在浑象条中予以介绍。此处讨论他的浑仪。

史书介绍张衡的浑象、浑仪制作,常将象、仪混淆。其原因之一,在于他的浑象除做表演天象情况外,还可做黄、赤道坐标转换之用,另一原因是对他的浑仪构造未做直接介绍,仅在述及浑象时,只是含糊地连带做简单的间接的叙述。

《隋书·天文志上》浑天仪:"汉孝和帝时,太史揆候,皆以赤道仪,与天度颇有进退。以问典星待诏姚崇等,皆曰星图有规法,日月实从黄道。官无其器。至永元十五年(103),诏左中郎将贾逵,乃始造太史黄道铜仪。至桓帝延熹七年(164)[1],太史令张衡,更以铜制……亦于密室中,以漏水转之。"



[1] 此年代有误,164年,张衡已去世25年了,应为顺帝(126—131)时,《晋书·天文志》:"至顺帝时,张衡又制浑象"。

这里张衡"更以铜制"是接着贾逵的太史黄道铜仪后说的。而贾逵的黄道铜仪据《晋书·天文志上》仪象说"暨汉太初,落下闳、鲜于妄人、耿寿昌等造圆仪以考历度。后至和帝时,贾逵系作,又加黄道。至顺帝时,张衡又制浑象"是根据耿寿昌圆仪系作的。耿的圆仪是测量仪器,但在赤道环周围可能绘、缀有星官、日月五星起到浑象的作用,它是仪、象合体的;因此贾逵乃至张衡的仪器都具有此特点。张衡的《浑天仪图注》中说"上头横行第一行者,黄道进退之数也。本当以铜仪日月度之则可知也"。这里说的铜仪也是指的张衡制的可作测量仪象两用的浑仪。作为仪的一个特点是要有瞄准器。这种瞄准器后来发展成四游仪的结构,初期也许是如阜阳夏侯灶汉墓中出土的二十八宿圆盘中的具有可插瞄准杆的圆孔的那种形式。在未插上杆时,它更可如浑象那样起显示作用。

也许张衡的这种两用仪器上正具有四游环那样的方向瞄准器。这是四游仪出现时代的上限。

据李志超研究,认为四游装置可能是张衡创造的。据张衡的《浑天仪图注》,在述及确定太阳的黄道进退之数时,张衡做一小浑,用竹篾连成一赤经圈,两极以针为轴,可绕南极点转动。由此来推论当时还没有可转动的赤经圈那样的浑仪,因而张衡受到启发做出了四游仪那样的照准设备。

### 三、孔挺的浑仪

是我国古代浑仪中,第一架留有详细结构史料的仪器。

《隋书·天文志》:"梁华林重云殿前所置铜仪,其制则有双环规相并,间相去三寸许。正竖当子午。其子午之间,应南北极之衡,各合而为孔,以象南北枢。植楗於前后,以属焉。又有单横规。高下正当浑之半。皆周匝分为度数而署以维辰,以象地。又有单规,斜带南北之中,与春秋二分之日道相应。亦周匝分为度数,而署以维辰,并相连著。属楗植而不动。其里又有双规相并,并如外规。内径八尺,周二丈四尺,而属双轴。轴两头出规外各二寸许,合两为一。内有孔,圆径二寸许,南头入地下,注于外双规南枢孔中,以象南极。北头出地上,入于外双规北枢孔中,以象北极。其运动得东西转,以象天行。其双轴之间,则置衡,长八尺,通中有孔,圆径一寸。当衡之半,两边有关,各注著双轴。衡既随天象东西运转,又自于双轴间得南北低昂。所以准验辰历,分考次度,其于揆测,惟所欲为之者也。检其镌题,时为刘曜光初六年,史官丞南阳孔挺所造。则古之浑仪之法者也。"

孔挺浑仪的构造使用说得很清楚:

①该仪有两层环规,外层如同以后的六合仪,由子午双环,赤道单环,地平单环,相应天球坐标系子午、赤道和地平圈,共 4 个环规组成,各环互相固结,作为仪



器的支架。其中子午、赤道环规上刻有周天度数，分别代表赤纬度数（或去极度）及方位角。内层如同四游仪，由一个赤经双环和一个瞄准器——衡组成。赤经双环，由两个平行的环规组成，在两环规之间的圆心上安置了一个长度等于环规直径 8 尺的衡，衡可绕轴转动，指向不同赤纬的天空。赤经双环的直径两端各有伸出延长的短轴，上端置入外层子午双环的北极枢孔中，下端置入子午双环南极枢孔中。赤经双环的直径略少于外层环规的直径，可以绕外层环规上的南北枢孔旋转，以使衡指向不同赤经的天空。这样衡就可指向任一赤经、赤纬的天体。同时在外层的赤道环规上读出入宿度（赤经差）值，及在赤经双环上读出去极度（赤纬）值。（原文没有介绍赤经双环上有刻度，想必一定会有刻度的）

②孔挺浑仪中第一次出现了关于四游仪这一重要部件。即是四游仪使用时代的下限。四游仪的出现，使得浑仪结构向前迈了一大步。子午环规用双环；其中留有三寸的间距，是使衡的视线可从子午双环规中通过，以观测子午线上的天体。设立了地平环规，其上有刻度。

使用孔挺浑仪可以测定天体的赤道坐标值，方位，昏旦夜半中星。这架浑仪制于东晋时期前赵（汉）光初六年（323），相当于东晋明帝太宁元年。前赵系十六国之一，存于公元 304—329 年，公元 319 年始都长安称前赵，国土占有今冀、晋、豫、陕各部分，为一小国，而制此浑仪可见我国古代少数民族国家对于天文的重视。该仪到梁（502—557）尚置在重云殿前。隋书说它是“则古之浑仪之法者也”。

## 四、晁崇和解兰的太史候部铁仪

《隋书·天文志》：“后魏道武天兴初，命太史令晁崇修浑仪，以观星象。十有余载，到明元永兴四年壬子，诏造太史候部铁仪，以为浑天法，考璇玑之正。……其制并以铜铁，惟志星度以银错之。南北柱曲抱双规，东西柱直立，下有十字水平，以植四柱。十字之上，以龟负双规。其余皆与刘曜仪大同。即今太史候台所用也。”后魏即北魏，道武帝天兴（398—403），命造，明元帝永兴四年（412）造成。特点是以铜铁合制，仪器设十字形水槽便于定平，其余均与孔挺浑仪相同。隋代（581—618）在候台仍在使用。《旧唐书·天文志上》：一行在上疏中言“今灵台铁仪，后魏明元时都匠解兰所造，规制朴略，度刻不均，赤道不动，乃如胶柱，不置黄道；进退无据”（《新唐书·天文志》所载略同）。而《宋史·天文志一》载沈括《浑仪议》中：“刘曜太史令晁崇、解兰皆尝为铁仪。”




据上述史籍所载，我们认为：太史候部铁仪乃后魏太史令晁崇与都匠解兰合造的。晁崇以天文学提出要求，解兰则是制仪的总工程师。他们是同时代人（明元帝），工作专业使他们有可能作天文与制造上的分工，以后唐代一行与梁令瓒，宋代

苏颂与韩公廉，皆分别以天文及制造方面分工合作制造仪象，在同一时代由这两人分别各制一仪的可能甚小。只是史籍记载上有人用晁崇有人用解兰而已。《宋史·天文志·仪象》中，沈括的《浑仪议》中说："刘曜太史令晁崇、解兰皆尝为铁仪"。沈括的记载是不确切的，他还把晁兰误为刘曜的太史令。据《魏书·晁崇传》、《北史·晁崇传》皆记载"拜太史令，诏造浑仪，迁中书侍郎，令如故"。这架仪器竟然使用到一行上疏时的开元十三年(725)，从公元 412 年到那时已是 300 多年了。发现了它的缺点、不足之处自属正常。

## 五、李淳风的浑天黄道仪

唐太宗贞观七年(633)将仕郎直太史局李淳风制成一架浑天黄道仪。《新唐书·天文志》："贞观初，淳风上言……汉落下闳做浑仪，其后贾逵、张衡等亦各有之，而推验七曜，并循赤道。按冬至极南，夏至极北，而赤道常定于中，国无南北之异。盖浑仪无黄道久矣。太宗异其说，因诏为之。至七年仪成。表里三重，下据准基，状如十字，末树鳌足，以张四表。一曰六合仪，有天经双规、金浑纬规、金常规，相结于四极之内。列二十八宿，十日，十二辰，经纬三百六十五度。二曰三辰仪，圆径八尺，有璇玑规、月游规，列宿距度，七曜所行，转于六合之内。三曰四游仪，玄枢为轴，以联结玉衡游筒而贯约距规。又玄极北树北辰，南距地轴，傍转于内。玉衡在玄枢之间，而南北游，仰以观天之辰宿，下以识器之晷度。皆用铜，帝称善，置于凝晖阁，用之测候。阁在禁中，其后遂亡。"《新唐书·李淳风传》载他"以将仕郎直太史局，制浑天仪诋摭前世得失，著法象书七篇上之，擢承务郎迁太常博士改太史丞，与诸儒修书迁为令"。李淳风(602—670)是唐代著名天文学家，他除制浑仪外，还是《晋书》、《隋书》的《天文志》和《律历志》的编写者，麟德历的编制者。





李淳风的浑天黄道仪有三层，外面一个六合仪，有子午双环(天经双规)、地平环(金浑纬环)和赤道环(金常规)，这一层在此以前已有；里层的四游仪也是过去已有的。李淳风增加了中间一层，称三辰仪，这是他的创造。三辰仪由赤道环、黄道环和白道环组成，故名三辰。宋沈括在浑仪议中说"有璇玑规，月游规，所谓璇玑者，黄赤道属焉"，月游规即白道规环。

浑天黄道仪中三辰仪的黄赤道是固结在一起的，赤道环上刻有二十八宿距度，观测时只要把赤道环与天球赤道对准，黄道环相应对准，解决了贾逵太史黄道铜仪遇到的问题。

另一个创造是首次在浑仪上用白道环(月游规)，由于白道和黄道的交角在 4°57′至 5°19′之间变化，平均约 5°09′，当天文观测精度提高后，必然要求区分白道和黄道的测量结果。但由于太阳引力，黄白道两交点的连线即交点线不断在黄道

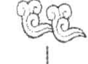


沿月亮运行相反的方向向西运动，这种交点运行，每年 19°21′约 18.6 年运行一周。这样，月亮每绕行一周后所处位置已不在原来位置了。所以李淳风的三辰仪中的白道与黄道并不采取固结的方法，而是在黄道环上穿了 249 对小孔用来连接白道环，每过 1 交点同把白道环对黄道环的相对位置移动一对孔。一行在开元十三年上疏中说的“近秘阁郎中李淳风著法象志，备载黄道浑仪法，以玉衡旋规，别带日道，傍列 249 交，以携月游，用法颇杂，其术竟寝”，就是这一结构。

李淳风生活在公元 602—670 年，一行在世为公元 683—727 年，开元十三年为公元 725 年。李淳风的浑天黄道仪于公元 633 年制成，虽然帝称善，但置于禁中凝晖阁，“既在宫中，寻而失其所在”。是否在司天监中应用不得而知。开元十三年司天监用的还是“今灵台铁仪，后魏明元时都匠解兰所造”。至少没有得到充分的应用。

## 六、一行与梁令瓒的黄道游仪

唐开元九年，因《麟德历》几次预报日食不准，玄宗命一行主持修编新历，他主张在实测基础上编历，为实测需有合适的仪器，与率府兵曹参军[1]梁令瓒于开元十一年制成黄道游仪。《新唐书·天文志》：“开元九年，一行受诏，改治新历，欲知黄道进退，而太史无黄道仪，率府兵曹参军梁令瓒以木为游仪，一行是之，乃奏：黄道游仪，古有其术而无其器，昔人潜思，皆未能得。今令瓒所为，日道月交，皆自然契合，于推步尤要，请更铸以铜铁。十一年仪成，一行又曰……臣更造游仪，使黄道运行，以追列舍之变，因二分之中以立黄道，交于奎轸之间，二至陟降，各二十四度。黄道内施白道月环，用究阴阳朓朒，动合天运，简而易从，可以制器垂象，永传不朽”。《新唐书·天文志》与《旧唐书·天文志》都记载有这具黄道游仪的各环规名称尺寸和功用。

结构分内外三层：

(1)位于外层的是一个位于子午圈内的阳经双环(子午环)，上刻周天度数，环的一面加上银钉，在南北两极枢处安放四游仪；一个是位于地平圈的阴纬单环(地平环)，与阳经双环相交，上面代表天，下为地，上面刻有周天百刻；还有一个是通过地平环上东、西(卯酉)点的天顶单环(卯酉环)。

(2)中层由三个环构成。一个是赤道单环，每度穿一孔，使黄道环能沿赤道退行；一个是黄道单环，与赤道环通过小孔销钉连接，可以变换两者相对位置；还有一个白道单环，可以变换与黄道环的相对位置，通过在黄道环上每度穿一孔来置放。

① 据《唐书·百官志》，太子东宫官有三寺十率府，率府兵曹参军从八品。

(3)内层的四游仪称旋枢双环，瞄准器称玉衡望筒，外方内圆，孔径1度半，等于极星的周日视运动圈。

它与李淳风浑天黄道仪的不同处是把六合仪上的赤道环改为卯酉环；黄道与赤道环的相对位置可以变换，为白道环与黄道环相对位置改换穿的孔由249对改为每度一换。

在地平环上刻百刻是古代对于时刻必须在赤道上量度这个概念不清楚导致的错误，黄道游仪上仍承袭这一错误。

一行在开元十二年前后，对二十八宿宿度和去极度重新做了测定，并算出黄道度，发现与古人所得不同。对月亮位置及运动也做了测定。一行与梁令瓒又制造了一具水运浑象。

## 七、宋代浑仪

北宋，科学技术与天文学都有很大发展。天文仪器的制造如浑仪、漏刻俱臻历史高峰。南宋偏安一隅，无所作为，在浑仪制造上也一样。

### (一)韩显符的铜候浑仪

《宋史·天文志一》仪象："铜候仪，司天冬官正韩显符所造。"

韩显符造的浑仪，究竟是一具还是两具记载不一。①先看《宋史·韩显符传》："……少习三式，善察视辰象，补司天监生，迁灵台郎，累加司天冬官正，显符专浑天之学，淳化(990—994)初表请造铜浑仪候仪，诏给用度，俾显符规度择匠铸之，至道元年(995)浑仪成，于司天监筑台置之。……显符上其法要十卷，序之云'……自伏羲甲寅年至皇朝大中祥符三年……'其制有九事，具天文志。自是显符专测验浑仪，累加春官正又转太子洗马，大中祥符三年(1010)诏显符择监官或子孙可以授浑仪法者……六年(1013)卒，年七十四"。②《宋史·律历志九》皇祐浑仪条："真宗祥符初，韩显符作浑仪"[应为真宗大中祥符(1008—1016)初]。③《宋史·太宗本纪》：至道元年(995)十二月庚辰"新浑仪成"。④《宋史·真宗本纪》：大中祥符三年(1010)闰二月甲寅"冬官正韩显符上新造铜候仪"。⑤沈括《梦溪笔谈》卷八更造三仪条，"司天监铜候仪景德(1004—1007)中历官韩显符所造"。⑥苏颂《新仪象法要》进仪象状："臣颂先准元祐元年(1086)冬十一月诏旨定夺新旧浑仪，寻集日官及检详应前后论列干证文字，赴翰林天文院太史局两处，对得新浑仪系至道(995—997)皇祐(1049—1053)中置造并堪行用，旧浑仪系熙宁(1068—1077)中所造，环器怯薄水趺低垫难以行使"。

我们先来看这六处史料的问题：




(1)按《韩显符传》,他卒于大中祥符六年,年七十四,其生卒年代,应为公元940—1013年。他在淳化初提出制造浑仪,至道元年制成,前后年代合于逻辑。但他上法要十卷,在大中祥符三年则是后来的事,至道元年到大中祥符三年,其中已经20年之久。这十卷法要是否仍为至道仪而写?

(2)《宋史·律历志》中说他于大中祥符三年作浑仪。与《宋史·真宗本纪》的记载一致。

(3)《宋史·太宗本纪》说至道元年新浑仪成。与韩显符传记载同。太宗本纪虽没有指出是韩显符造的浑仪,但同一年不太可能制成两架仪器。

(4)沈括说的景德年间,韩显符造的铜候仪。可能是沈括误记,但景德靠近大中祥符,可能他说的是大中祥符那架浑仪。

(5)苏颂《进仪象状》中提到了至道仪,未提及大中祥符仪。另外苏文中把新、旧仪的年代搞混了,熙宁应为新仪,至道、皇祐应为旧仪。他在文中不仅此两处新、旧位置应改过来,且“并堪行用”及“难以行使”的前后位置也有问题。这点不属此处讨论的内容。

如果我们判断韩显符在至道及大中祥符先后制作了两具浑仪,那么就是《韩传》漏记一处,另外《韩传》把他在大中祥符年写的法要误加到至道仪。从《韩传》中“请造铜浑仪、候仪”是一架还是两架仪器?

问题是宋史天文志中的铜候仪是哪一架,根据上述六条史料的①,③,⑥,应是指至道仪,而根据②,④,⑤,则指的是大中祥符仪。而六种史料中明确为“铜候仪”者为④,⑤。因而我们只能这样确定至道年间制成一浑仪,大中祥符年间制成《天文志》中刊载的铜候仪。

以上考证,足以证明宋李焘《续资治通鉴长编》卷三十八至道元年十二月“先是司天秋官长韩显符请造铜浑仪诏给用度俾显符择工铸焉,庚辰浑仪成诏于司天监筑台置之”;卷七十三大中祥符三年闰二月“甲寅冬官正韩显符造铜候仪成,并上所著经十卷其制则本唐李淳风及一行之遗法云”的记载。




《宋史·天文志一·仪象》介绍韩显符大中祥符铜候仪的结构,基本情况如下:

(1)该仪由两部分组成,只有两层,外层由“子午”双规、平准轮(地平)、黄道、赤道组成;内层相应于四游仪,由游规(四游环)、直规(四游仪双环中夹住瞄准器的直板条)和窥管组成。平准轮下有4根支撑的龙柱;四隅有校平仪器的水臬。

(2)宋开国后,先在太宗太平兴国四年(979)由张思训制成一台浑象,韩显符在至道元年制成一架浑仪,再就是这架浑仪了。它精简了唐代的白道环,采用晁崇、解兰的方法。是浑仪发展史上由繁到简的开始。

这仪器可能使用得不久,后来是只有至道仪反而留了下来。上述苏颂进仪象

状在元祐(1086—1093)间,只提到至道仪。而南宋周密据前人记载参以史传比较可靠的《齐东野语》:"旧京浑天仪凡四座每座约用铜2万斤。至道仪在浑仪测验所,皇祐仪在翰林院天文局,熙宁仪在太史局天文院,元祐仪在合台。"《宋史·律历志十四》记载同。也只有至道仪而无大中祥符仪的记载。

韩显符铜候仪中仍保留前代对于量度时角在地平圈上的错误观点。《宋史·天文志》铜候仪:"铜仪之制有九……五曰平准轮,在水臬之上,经六尺一寸三分,围一丈八尺三寸九分,上刻八卦、十干、十二辰、二十四气、七十二候于其中,定四维日辰,正昼夜百刻。"

### (二)皇祐浑仪

《宋史·仁宗本纪》:"皇祐三年十二月新作浑仪。"《宋史·律历志九》皇祐浑仪:"皇祐初,又命日官舒易简、于渊、周琮等参用淳风、令瓒之制,改铸皇道浑仪……既成,置浑仪于翰林天文院之候台。"该仪于公元1051年造成。

这架仪器的结构是:外层称六合仪,有阳经(子午)双环,阴纬(地平)单环,天常(赤道)单环;中层称三辰仪,有璇玑(赤经)双环、赤道单环、黄道单环和白道单环;前两环固结,黄道对于赤道"每岁退差一分有余",白道对于黄道"置于黄道环中,入黄道六度,每一交终,退行黄道一度半弱,皆旋转于六合之内"。内层称四游仪,由旋枢(赤经)双环和横萧望筒构成。

这架仪器上三辰仪的环是能调节的,也能在六合仪内旋转。类似于一行、梁令瓒的黄道游仪。它的特点是在外层六合仪的天常环上"上列十干,十二支,四维时刻之数,以测辰刻"。是中国古代第一架在赤道环上来测定时刻的浑仪。沈括在《梦溪笔谈》中评价说:"司天监铜浑仪,景德中历官韩显符所造,依仿刘曜时孔挺、晁崇、解兰之法,失于简略。天文院浑仪,皇祐中冬官正舒易简所造,乃用唐梁令瓒、僧一行之法,颇为详备,而失于难用。熙宁(1068—1077)中,予更造浑仪……皆置天文院……天文院旧铜仪送朝服法物库收藏,以备讲求。"按照沈括的记载,皇祐浑仪是"失于难用",在他的熙宁浑仪制成后,就把它入库"以备讲求"了。它存在的工作时间也就是20年左右。后来,据《齐东野语》记载是放在翰林院天文局。



### (三)熙宁浑仪

《宋史·神宗本纪》:熙宁七年(1074)六月"丁亥作浑仪浮漏"。

《宋史·律历志十三》叙述了沈括造浑仪的经过:"熙宁六年六月提举司天监陈绎言,浑仪尺度与《法要》不合,三极、赤道四分不均,规、环左右距度不对、游仪重涩难运,黄道映蔽横萧,游规璺裂,黄道不合天体,天枢内极星不见。天文院浑仪尺度



及二极、赤道四分各不均，黄道、天常环、月道映蔽横萧，及月道不与天合，天常环相攻难转，天枢内极星不见。皆当因旧修整，新定浑仪，改用古尺，均赋辰度，规、环轻利，黄赤道、天常环并侧置，以北际当天度，省去月道，令不蔽横萧，增天枢为二度半，以纳极星，规环二极各设环枢，以便游运，诏依新式制造，置于司天监测验，以较疏密。七年六月，司天监呈新制浑仪、浮漏于迎阳门，帝召辅臣观之，数问同提举官沈括，具对所以更改之理，寻又言：'准诏，集监官较其疏密，无可比较'，诏置于翰林天文院。"看来陈绎的建议及内容仍出自沈括，也是熙宁浑仪与过去不同及改进之处。这也是韩显符铜候仪和皇祐浑仪的缺陷。沈括的改进有如下几方面，载于《宋史·天文志·浑仪议》中：

(1)省去白道环，"既不能环绕黄道，又退交之渐当每日差池，今必候月终而顿移，亦终不能符合天度，当省去月环"。黄白道的变化是每天都在进行中的，如每月去移动一次，不可能符合实际情况。

(2)改进窥衡的上、下端孔的尺寸。原来的皇祐浑仪上的横萧望筒"外方内圆，中通望孔，其径六分，周于日轮"相当于一度半角径，他认为在观测天体时需将其置于视场中央，原来上、下端孔径相等就达不到此目的，将下端缩小为三分，以避免观测时人眼位置不同造成的视准差。

沈括在《梦溪笔谈》卷下，极星位置之测定中说：他在为编历做天文观测时，发现由于极星的周日视运动轨迹经常要超出窥衡的视场之外，因而将窥衡口径扩大，使极星一直在视场中，而得到极星距北天极为 3 度多一点。这种做法客观上提供了一个安放校正浑仪极轴位置的方法。

(3)减少规环的宽度以减少重量，使运转轻便。把原来梁令瓒时代在地平环上刻时刻分划的办法改变为刻于赤道环上(皇祐浑仪已如此办了)。

(4)把黄赤道环及地平环的位置安放稍偏(应为平行移动)以避免观测这些方向的天体时视线受遮挡。去掉了梁令瓒的天顶(卯酉)环圈。

(5)原来仪器的环规上一面刻度数一面加银钉，以便夜间看不到时可用手触摸，他进而改为"设齿于环背"，更为适便。

经这些改进后，熙宁浑仪的结构是：

(1)仪器共分外、中、内三层，依次称为体、象及玑衡。

体(即六合仪)用来作支架定方位，是固定在基座上的。体有代表 3 个圈的 4 个环规，即经规(子午)为双环规，纬(赤道)环规，和 纮(地平)环规。纮下有定平仪器的水沟。

中层称象(即三辰仪)，由代表 3 个天球基圈的 4 个规环组成。玑规(赤经圈)为双规，与外层的子午经规相似，但能绕极轴运转；一个与玑规相联结的赤道环规，

能随玑而转动，上每度穿一孔，以为安置岁差变化而用；第三个是黄道规环与赤道规固结，也每度穿一孔，以与赤道联结。

内层称玑衡(即四游仪)，为一玑双规，及双规中心的衡。

(2)所有环规的度数分划都用齿来代替刻划，便于夜间观测时使用。

沈括对前代浑仪结构的研究和评论，为以后浑仪的制造提供了有价值的参考。载于《宋史·天文志》中的他的《浑仪议》是一篇有价值的仪器论文，使我们今天得以了解那个时代的认识水平。

### (四)苏颂、韩公廉的元祐浑仪

《宋史·律历志十三》：元祐七年(1092)四月诏尚书左丞苏颂撰浑天仪象铭。六月，元祐浑天仪象成，诏三省、枢密院官阅之。这就是举世闻名的苏颂的水运仪象台，它包括3部分：漏水为动力的机械部分、浑天象、浑仪。该仪能使浑象及浑仪随天球周日视运动而运转，在欧洲直到公元1685年才有意大利天文学家卡西尼利用时钟装置带动天文望远镜随天球周日视运动而旋转的装置，这是水运仪象台以后600年了。

苏颂(1020—1101)，宋代政治家、著名天文学家、药物学家，福建南安人，官至右仆射兼中书门下侍郎。他在绍圣(1094—1097)初，把这台仪器的结构、部件绘图分别说明，著成的《新仪象法要》是我国古代流传下来的一部最完整的天文仪器专著，有很高价值。

他在元祐元年(1086)奉命检查当时使用的浑仪，想到制造浑象、浑仪配合的仪器，建议先造木样试验成功后再造铜器，当推荐吏部守当官韩公廉参加，韩公廉当时已造成木制由水运机轮带动的仪器。元祐三年先造成小样，又制成大木样，然后于元祐七年完成了这座仪器。





按《新仪象法要》中的叙述：这是一座把浑仪、浑象和报时装置三个组件合在一起的大型仪器。仪器分上、中、下三层，下层为以漏水为动力的一套机械装置，中层为浑象，上层为浑仪。有关浑仪部分是由下层的传动机构带动，使得望筒随着天球而旋转，当对准所测天体后，即能保持它一直在望筒的视场中。它的实测方法是在白天将望筒瞄准太阳，到晚间就可从望筒中所测到的恒星得到赤经及黄经之差了。

他这仪器的浑仪部分的结构是分为外、中、内三层。

(1)外层称六合仪。有天经双规(子午)，阴纬单环(地平)，这两个规环上都刻有周天度数，地平环圈上刻有水槽用以定平仪器，地平环上还刻有八干、四维、十二辰位。还有一个天常环(赤道)与上两环固结，环侧刻有12时辰的正、初及百刻等时间分划。



(2)中层称三辰仪。在刻有周天度数的双环(赤经)内,安放赤道单环和黄道双环。赤道单环环北面刻有二十八宿、二十四气、六十四卦,环外侧刻有七十二候。黄道双环,环面刻周天度数,观测太阳时视线可从双环间穿过对向太阳。三个环固结。

(3)内层称四游仪。有一双环,周围刻周天 $365\frac{1}{4}$度,南北两极间连以直距,两直距中心夹横萧(与直距正交),横萧中央穿有一望筒。

由下层漏水带动的机械传动装置,通过一个有 478 牙的天运单环带动三辰仪上的四象环而使三辰仪转动。亦可使四游仪转动。

苏颂浑仪无其他优点,而只有能被带动的传动系统为其特征。

### (五)其他浑仪

(1)宣和六年(1124),北宋覆亡前两年,宰臣王黼提出:在崇宁元年(1102),在京师遇到一王姓方士,提供玑衡的制造法,制成一台比苏颂还要复杂的仪器。

(2)南宋偏安一隅,政治腐败,生产受到破坏,遑论天文。虽因"旧器尽失",多次想制浑仪,均未成功。仅做出一些质量不高的小仪,远不能与北宋相比。

《宋史·律历志十四》:绍兴二年(1132)"是岁,始议制浑仪","三年正月壬戌,进呈浑仪木样",北宋浑仪每座用铜 2 万多斤,准备用铜 8400 斤,"诏工部置物料,临安府佣工匠,仍令工部长贰提举。"十四年,"太史局请制浑仪",但是因不掌握制法,找苏颂之子寻其父遗书考证制法,但无人通晓,由秦桧负责 18 年后才制成了两小仪。孝宗(1163—1189)时:"诏太史局以高宗所降小浑仪测验造历",嘉定(1208—1224)初:"婺州布衣阮泰发献浑仪十论","朝廷令造木浑仪,赐文解罢遣之"。




《宋史·天文志》:"朱熹家有浑仪,颇考水运制度,卒不可得"。《玉海·六经天文编》卷上,载有朱熹对浑仪结构的叙述。

《古今图书集成·历象汇编·历法典》卷八十四《仪象部》载"按续文献通考理宗端平三年(1236)七月诏出封椿库千缗下秘书省修浑仪,从太史局之请也",这时早已无力制新仪,仅能勉强修理破旧仪器维持工作而已。

南宋从事天文工作的浑仪,《宋史·天文志一》:"清台之仪,后其一在秘书省。按仪制度,表里凡三重"。结构如下:

分外、中、内三层,最外层为六合仪,有阳经(子午)环上列周天度数,每度阔 3 分;阴纬(地平)环,上面开有定平用的水沟,同外面刻有八干、十二支,画艮、巽、坤、乾卦于四维。中层为三辰仪,有赤道单环,上列二十八宿、周天度数;黄道单环,上列七十二候,百刻单环,上列昼夜刻数。内层为四游仪,四游赤经环上刻周天度数;

望筒长3尺6寸5分，内圆外方，窥眼阔3分。此外不设“水运之法”和浑象。

南宋的浑仪如此状况，没有做出什么天文工作也就不足为怪了。

## 八、金元明清浑仪

### (一)金代使用的浑仪

据《宋史·钦宗本纪》：“靖康二年(1127)夏四月……金人以帝及皇后、皇太子北归，凡法驾卤簿，皇后以下车辂卤簿冠服、礼器、法物大乐、教坊乐器、祭器、八宝、九鼎、圭璧、浑天仪、铜人、刻漏、古器……府库蓄积为之一空”。把天文仪器浑天仪、漏刻等都带到金的京城。宋代制造了多具浑天仪，到元祐后放置在天文机构的至少有4具，即《宋史·律历志十四》：绍兴三年壬申“太史局令丁师言等人，省识东都浑仪四座：在测验浑仪刻验所曰至道仪，在翰林天文局曰皇祐仪，在太史局天文院曰熙宁仪，在合台曰元祐仪”。那么是否金人把4具浑仪(或存于库所的前代其他浑仪)都送去燕京，据《金史·历志三》有一段详细叙述，在系统地介绍了浑象、浑仪的历史后，着重叙述韩公廉的仪器：“……此公廉所制浑仪、浑象二器而通三用，总而名之曰浑天仪。金既取汴皆辇致于燕，天轮、赤道、牙距、拨轮、悬象钟鼓、司辰刻、报天池、水壶等器久皆废弃，惟铜浑仪置之太史局候台。但自汴至燕相去一千余里，地势高下不同，望筒中取极星稍差移下四度才得窥之。明昌六年(1195)秋八月，风雨大作，雷电震击龙起浑仪鳌云水趺下，台忽中裂而摧浑仪仆落台下，旋命有司营葺之复置台上。贞祐南渡，以浑仪熔铸成物，不忍毁折，若全体以运，则艰于辇载，遂委而去。兴定(1217—1221)中司天台官以台中不置浑仪及测候人数不足，言之于朝……宣宗召礼部尚书杨云翼问之，云翼对曰国家自来铜禁甚严……今调度方殷、财用不足实未可行。他日上又言之，于是止添测候之人数，铸仪之议遂寝”。因之，我们可知：

(1)金人从汴梁带到燕京的只是苏颂的元祐浑天仪(即水运仪象台)；

(2)金人于1127年取走仪器，到贞元二年(1154年)建台安放仪器，其中经历27年，因而那些自动机构都废坏弃去了，只安装了元祐浑天仪中的浑仪；

(3)明昌六年因受雷击致浑仪受损，修理后复置台上；

(4)贞祐二年(1214)蒙古兵临金京师中都(燕京)，金迁都南京(汴梁)称为贞祐南渡，因运输困难，将浑仪弃置不顾而去；

(5)金到汴梁后无浑仪可资工作，重铸又无力，只能对付到金亡(20年的时间)。

结论是宋代仪器除元祐浑天仪中的浑仪留在燕京外，其余仪器都在1127年汴



京失陷后失落了。

需要澄清的是：有人根据《宋史·天文志·仪象》说，“而此五仪者悉归于金”，认为是把汴京的五台浑仪都运去了燕京。这是误解文意。

《仪象》的内容在这一句以前的内容是开始时介绍了李淳风、一行、张衡的浑象情况，这都是前代数百年以前的事。叙述宋代浑象、浑仪的有张思训的浑象，韩显符的铜候仪，以后就是全文转载沈括《浑仪议》，该议中提到了皇祐铜仪，《浑仪议》中并未出现熙宁浑仪之类的名称。接下去一段全文是：“元祐间苏颂更作者，上置浑仪、中设浑象，旁设昏晓更筹，激水以运之。三器一机，吻合厘度，最为奇巧。宣和间，又尝更作之。而此五仪者悉归于金。”

问题在从这一大段记载中如何来算这“五”具仪器。如果从全文来以宋代的开始数，那么张思训、韩显符、皇祐、苏颂、宣和仪共五具，那么沈括的熙宁浑仪呢，连在一起就是六具了。而且从行文来说把天文志编写者表叙的及全文转载的内容中说到的情况一齐算也是不通的。

那么如何算这五仪呢？

《宋史·律历志十三》记载宣和六年（1124）宰臣王黼的建议：王姓方士提出制造的仪器，这是一具以水带动的浑象，可以表演扬雄、京房和沈括提出的月光和月相系因阳光照射引起的理论。王最后建议“宜命有司置局如样制，相阯于明堂或合台之内，筑台陈之，以测上象。又别制三器，一纳御府，一置钟鼓院，一备车驾行幸所用”，“诏以讨论制造玑衡所为名，命黼总领，内侍梁师成副之”。这里没有说明仪器大小等具体情况，也未说明制造完成情况。但以天文志中“宣和间又尝更作之”来说是完成了的。因而这一句下紧连着的“而此五仪者悉归于金”就说得通了，是苏颂的一具连同宣和的四具共五具。而且这五具俱有自动机构，俱有浑象，仅苏颂一具中有浑仪，这就和金史历志中记载的吻合。因为漏水转的机构全坏，剩下的只有苏颂仪中的浑仪部分。更重要的是《金史·历志》中丝毫未见有对辇致于燕的一具以上浑仪的直接和间接的描述。《历志》中对于张思训、韩显符、舒易简（皇祐）、韩公廉等的仪器做了介绍和评说，然皆为引用前人叙述，历代天文律历志中言及仪象的部分，大多采取这种写法，交代历史而已。《历志》中说的张思训的太平浑仪“自思训死，玑衡断坏，无复知其法制者”，则此仪大多早已不在；说到韩公廉的仪器评为“失之简略”。舒易简的皇祐浑仪则“颇为详备，亦失之于密而难为用”。几全同于沈括在《梦溪笔谈》中的评论，总之这些评论全不能说明这些仪器已运到燕京。

终金之世，未见有铸成浑仪的记录。

汴梁与燕京纬度差约5度，金史历志中那一段说4度，想仪器经搬运，环架结构已受损坏变形。且燕京的北极出地纬度比汴梁约高5度，应为“移上五度才得窥




之"。这都是叙述不严密,作者不熟悉仪器所致。

### (二)元浑仪

元开国时的浑仪中应包括金留在燕京的浑仪及元至元十三年(1276)即宋德祐二年及元破临安后从南宋得到的仪器。

《元史·天文志》:"宋自靖康之乱,仪象之器尽归于金。元兴,定鼎于燕,其初袭用金旧,而规环不协,难于施用。于是太史郭守敬者,出其所创简仪、仰仪及诸辰表,皆臻于精妙,卓见绝识,盖有古人所未及者。"《元史·天文志》中有关仪象部分全部介绍郭守敬的简仪等仪器及西域仪器。

在元开国的至元十六年(1279)前后,史籍所载有关浑仪的内容有:

《太宗·本纪》五年(1233)十二月"敕修孔子庙及浑天仪"。

《世祖·本纪》至元三年(1266)五月辛丑"以黄金饰浑天仪"。

《元史·天文志一·西域仪象》:"世祖至元四年(1267),札马鲁丁造西域仪象。"

《元史纪事本末》:"至元十六年(1279)改局为太史院以恂为太史令,郭守敬同知太史院事,乃进所造仪表式……守敬所为历,测验既精,设法且详,旧仪悉多蔽碍,且距齿有度刻而无细分,以管望星,渐外则所见渐展尤难取的,守敬所为仪,但用天常赤道,四游三环、三距,设四游于赤道之上而附直距于四游之外,与双环两间同固结环距端测日月星,则以两线相望,取其正中所当之刻之度之分之秒,至为切密。"

《世祖·本纪》至元十九年(1282)二月:"命司徒阿尔哥,行工部尚书纳怀制饰铜轮仪表刻漏。"



《世祖·本纪》至元二十五年(1288)五月"浑天仪成"。

《世祖·本纪》至元二十六年(1289)三月"乙未铸浑天仪成"。

此后再也没有找到有关浑天仪的记载了。

元代浑仪的使用及发展主要是郭守敬时期进行的。也就是在开国前不久和开国后这段时间内。

在开国前的两条有关记载,及太宗五年及至元三年,修饰的仪器可以认为是对作为礼器的浑象的修理、装饰。

"元初承用金大明历",以后中书令耶律楚材编了一部《西征庚午元历》"表上之,然不果颁用",至元四年(1267)来蒙古工作的西域天文学家札马鲁丁献上他编的万年历,"世祖稍颁行之"。《元史·历志一》:至元十三年,平宋,遂诏前中书左丞许衡、太子赞善王恂、都水少监郭守敬改治新历。这是因为以前忙于战争,这类次





要事无暇考虑，而在统一全国后，历法成为一个国家统治权的标准之一，势必提到重要地位来对待。可以认为在公元 1276 年以前，是没有开展什么天文工作，对于金遗留下来的宋浑仪也不会去发挥作用。况且这些宋代遗留物年代久远，且经搬迁，可能早已成为废品而不能正常应用。《元史・许衡传》“衡以为……今所用宋旧仪，自汴还至京师已自乖舛，加以岁久规环不叶，乃与太史令郭守敬等新制仪象圭表”可证。

札马鲁丁曾制造七件西域仪象，并在至元八年(1271)任设在上都的回回司天台的提点，也说明宋遗留下的浑仪并未起过作用；札马鲁了也不会去铸造中国式的浑仪，因为他们使用的是阿拉伯仪器。

《元史・郭守敬传》：“至元十三年，江左既平，帝思用其言(指刘秉忠改历的建议)，遂以守敬与王恂率南北日官，分掌测验推步于下……守敬首言，历之本在于测验，而测验之器莫先仪表，今司天浑仪，宋皇祐(可能是元祐之误)中汴京所告，不与此处天度相符，比量南北二极，约差四度，表百年久亦复欹侧……创作简仪高表……”可见留在燕京的只有过去的一架破旧浑仪，不堪使用。郭守敬制造了许多种天文仪器，这里介绍与浑仪有关的仪器。

**1. 简仪**

在郭守敬创制的各种仪器中，简仪具有特殊的价值与意义。是中国古代天文测量仪器史中的里程碑，在国内外的天文史界得到高度评价。按《金史・章宗本纪》：承安四年(1199)六月癸未“奉职醜和尚进浮漏、水称、影仪、简仪图，命有司依式造之”。郭守敬(1231—1316)，出生邢州邢台县(今河北邢台县)，属金朝，与郭守敬有关的刘秉忠、张文廉、王恂亦均河北人，醜和尚呈进的简仪等图样，有司是否依样造出不得而知，而其记入金史可见并非泛泛，郭守敬可能会受到启发。





简仪，称为“简”，是把中国传统的浑仪简化分解成两种独立的仪器——赤道经纬仪和地平经纬仪，克服了传统浑仪上环规众多，遮住观测视线的缺点。并在零部件、刻度分划上做了许多项重大改进。

《元史・天文志一》简仪条对其结构有详细叙述。

(1)赤道经纬仪部分。在赤道平面内有两个同心环规，外面较大的一个称百刻环，径六尺四寸，面广二寸，周布十二时、百刻，每刻作三十六分，厚二寸，自半已上广三寸。又有十字距，皆所以承赤道环也。百刻环内广面卧施圆轴四，使赤道环旋转无涩滞之患。这个环的截面形如。另一个环规称赤道环，“径广厚皆如四游(为径六尺，广二寸，厚一寸，如百刻环略小)，环面细刻列舍，周天度分。中为十字距，广三寸，中空一寸，厚一寸”。赤道环置于百刻环内，其外径比百刻环内径略小，可在百刻环内转动，但赤道环的下面不是与百刻环的上面贴紧做滑动摩擦而是在

百刻环下面平放了4个圆柱形短铜柱，使两环相对做滚动摩擦，如同现代的滚筒轴承，比西方约早200年。参见图13－4。

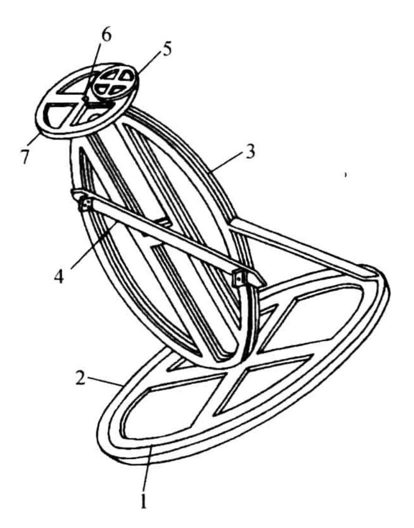



图13－4　简仪的赤道经纬仪部分的环规

1.赤道环；2.百刻环；3.四游双环；4.窥衡；5.定极环；6.北天极枢；7.规环

在百刻、赤道两个环规的十字距（支架）中心，装有一个与这两环正交的四游双环，四游环在百刻、赤道环的赤道北面（即上端）。四游环可绕百刻、赤道两环中心的轴（及天球南北极轴线）旋转。四游双环中心装有窥衡。窥衡长度与四游环直径相同，是一条扁长的铜板，两端各有一块与窥衡正交的“侧立横耳”，中心开直径六分的圆孔，圆孔中央各有一条与铜板垂直的细线，以作瞄准之用。





百刻环“陷入南极架一寸，仍钉之”，它是固定在支架上的，赤道环则可在其内转动。通过赤道环圆心有两根长条形的界衡互相叠置，各可绕圆心转动，它们的移动平面与赤道环平行，界衡两端折向有刻度的赤道、百刻环可以读取赤经和时角读数。界衡两端各有小孔，北极轴轴上亦有孔，可用线把它们连接成等腰三角形，代表赤经圈，用这两个赤线圈分别瞄准两天体，就可以两条界衡两端指向的刻度得到这两天体的赤经差值。

在中国科学院紫金山天文台陈列的明制仿元简仪的四游双环的双环下端，还装有一根扁平铜条制成的指标，指向赤道环和百刻环的刻度，指标位于四游环的平面及赤经圈平面内，可读取时刻或赤经（入宿度或两天体的赤经差）。

为了使仪器在安装时，极轴正确指向天极，在北面（即上端）的支架上装有一个与天赤道或赤道、百刻环平行的规环，规环的轴线即四游环的轴。在规环上又装置了一个称为定极环的小圆环，中心有直径5厘的小孔。在南极端安放一块与赤道



面平行的铜板，中心开一个 1 分直径的小孔。定极环小孔与铜板小孔的连线与仪器的旋转轴相互平行。校准仪器的旋转轴使与天极轴线重合，仪器就位于正确位置。步骤是人目放在南极端的铜板下，透过小孔观测北极星的周日视运动轨迹，并不断微动仪器的旋转轴方向，当北极星的周日视运动轨迹与定极环内边缘相切时，仪器的旋转轴即已校正得与天球极轴重合(即平行)。这种校正方法就是沈括在《梦溪笔谈》卷七，极星位置之测定条的实际应用。郭守敬使用定极环测定北天极方向的方法，把定极环内圆的半径定为 3 度，直径 6 度。这是全圆 $365\frac{1}{4}$制的度数，合现今度数为：$365/365.25\times3°=2°57'$，而元至元十余年时，极星天枢的极距为 $2°40'$，两者相差不多且定极环直径自应比北极星极距略大些，测定时使周日视路径轨迹在定极环内，使其距环周略有一定空隙，以目估视结果是可以相当精确的。

(2)地平经纬仪部分。这部分有个名称叫立运仪。在简仪基座的北端，独立地安排老式浑仪的地平坐标部分。由两个环规组成，即阴纬(地平)环，上刻方位，及立运(垂直)环，上刻度分。立运环位于阴纬环上；竖直置放与阴纬环正交，其旋转轴指向天顶和天底点通过阴纬环中心。立运环上有窥衡。观测天体时可从立运环上读出地平纬度(高度角)，立运环和四游双环一样，下端伸出一指标以在阴纬环上读出地平纬度(方位角)，此仪十分简要。

郭守敬的简仪，制于至元十三年，元世祖提出修历时，“自是八十年间，司天之官遵而用之，靡有差式”，终元之世大概都用它观测。

简仪的另一特点是环规上的刻度，其一是减小最小分划值(即刻度分得更细)，在百刻环上的刻度每一时辰分为初、正两大部分，每部分再分为初初、初一、初二、初三；正初、正一、正二、正三共 8 刻。每刻分为 3 大格，1 小格，大格中分为 10 等份，小格中分为 6 等份，即每刻 36 等份，每等份相应的时间为现在的 24 秒钟，加上估读，可读得 10 秒钟以内的数值。由于时辰与百刻不能被整数除尽，上述每一时辰的初、正两大部分后还各加一小格(内 6 等份)，使每时辰等于 $8\frac{2}{6}$刻。元以前的环规刻度分划值最多到 1/4 度，上述百刻环的最小分划值化为度数是在每个时辰即 30 度范围内共分 300 个分划，相应于 1/10 度，提高了 1.5 倍。(参阅图 12—12)




地平经纬仪上的分划值在立运环上是 1/10 度与赤道式经纬仪的百刻环相同，阴纬环上则为 1.5 度，粗略得多。

另一个特点是百刻环上的分划，按一圆周 360°划分，这是受到元初阿拉伯天文仪器 360 度制的影响。阴纬环上分划，按 24 方位，每方位 10 等分，全圆周共 240 分划，每分划等于今 1.5 度。其余环规上的分划，仍按 $365\frac{1}{4}$度刻划。

赤道式经纬仪的结构与现代天文望远镜的赤道式装置一致,后者是18世纪才有的。

郭守敬制造的简仪在清康熙五十四年(1715)奉命制造地平经纬仪时,作为废铜销毁了。现在陈列在紫金山天文台的是明初仿元制造的那具简仪。

**2.西域仪象中的咱秃哈喇吉**

咱秃哈喇吉,阿拉伯文为 Dhātu alhalaq-i 意为浑天仪,实为类似浑仪的测量仪器。元世祖至元四年(1267)西域人札马鲁丁带来的七件西域仪象之一。《元史·天文志一》西域仪象条:"其制以铜为之,平设单环,刻周天度,画十二辰位,以准地面。侧立双环而结于平环之子午,半入地下,以分天度。内第二双环,亦刻周天度,而参差相交,以结于侧双环,去地平三十六度以为南北极,可以旋转,以象天运为日行之道。内第三、第四环,皆结于第二环,又去南北极二十四度,亦可以运转。凡可运三环,各对缀铜方钉,皆有窍以代衡萧之仰窥焉。"

可知它具有一个地平环,上刻周天度数和方位,一个直立的子午双环;第二层为一个四游双环。而四游双环内还有两个环规可以运转。这两个环规,一个是离天极24度的黄经环,其轴在四游环距极24度处,另一个记载不够清楚,可能是与黄经环固结的黄道环。

据李约瑟博士等学者的研究,札马鲁丁是波斯马拉盖城的天文学家,受当时统治波斯等地区的旭列兀汗(元世祖忽必烈之弟)的派遣而到蒙古,于公元1267年制造的。至元八年(1271)在上都建立回回司天台,用西域仪器进行观测,编制回历,此仪或系当时所用的。这仪器的北极出地高度(安放地方的纬度)为36度,与德黑兰或麦什特相合。



**3.玲珑仪——明仿元制浑仪抑或是浑象之争**

《元史·郭守敬传》:"……做玲珑仪,以表之距方,测天之正圜,莫若以圜求圜。"圜同圆,亦同环,又意为天体,《易》:"乾为天为圜。"明显地说明它是一座圆圈环组成的测量仪器,是郭守敬所做的十七件仪器之一。元史天文志中介绍了其中的八件,其中简仪、立运仪、候极仪三件包含在简仪一件内,连同大名殿灯漏合并七条(件)。还有一二件可能是某一仪器的部件,另有二三件未见记载,可能是次要的小仪器。其中玲珑仪一件引起了后人的讨论,有人认为是浑象,但认为是浑仪的学者提出《元史·郭守敬传》中叙述他所做的仪器中已有浑天象,多数学者认为它就是浑仪。它的沿革首先是意大利传教士利玛窦在南京所见的记载。利玛窦于万历十年(1582)到澳门,1590年在韶州传教,1600年徐光启在南京晤见利玛窦,被他介绍的欧洲科学知识所吸引,走上了学习科学、天文之路。利氏在南京鸡鸣山北极阁的明代观象台中曾见到过当时的四座主要仪器。李约瑟《中国科学技术史》第4卷



第20章中曾引用了他的所见。这四座仪器，据他的描述，可以判定是天球仪、浑仪、圭表和简仪。他并看到这些仪器的北极出地均为36度（南京为32 $\frac{1}{4}$度），数年后他在北京又看到了同样的如出一人之手的仪器。清初天文学家梅瑴成在他所著的《操缦卮言》仪象论中说："康熙五十四年，西洋人纪理安欲炫其能而灭绝古法。复奏制象限仪。遂将台下所遗元明旧器作废铜充用。仅存明仿元制浑仪、简仪、天体三仪而已。""乾隆年间，监臣受西洋人之愚，屡欲检括台下余器，尽作废铜送制造局。廷臣好古者，闻而奏请存留。礼部奉敕查检，始知仅有三仪，殆纪理安之烬余也。"

元代亡后，明初将元代仪器送南京钦天监司天台应用。英宗正统二年（1437）行在（指北京，永乐元年即公元1403年称行在，永乐十九年改称京师，洪熙元年即公元1425年仍称行在，正统六年更名京师）钦天监正皇甫仲和奏言："南京观象台设浑天仪、简仪、圭表以窥测七政行度，而北京乃止于齐化门城上观测，未有仪象。乞令本监官往南京，用木制造，挈赴北京，以校验北极出地高下，然后用铜别铸，庶几占测有凭。从之。明年冬，乃铸铜浑天仪，简仪于北京。"

从上述史料，可知明代南京的一座天文仪器仍取自元的北京，而北京一套仍仿制南京的元代仪器。清初将南京的仪器亦集中到北京。1715年为铸新式仪器而被纪理安大部销毁，仅剩"明仿元制浑仪、简仪、天体三仪"。利玛窦于鸡鸣山所见元制仪器显然被纪理安销去，而留下的明仿元制仪器其母本即为鸡鸣山上利玛窦看到的。这架浑仪历尽劫难现陈列于紫金山天文台。很可能就是郭守敬的玲珑仪。

而另一种看法是玲珑仪是假天仪。关于玲珑仪的资料，是一篇《玲珑仪铭》，是郭守敬的下属太史院校书郎杨桓写的，全文如下：

> 天体圜玄，三辰在中。星虽纪度，天实无穷。天度之数，环周三百，十五度，四分度一。因星而岁，推日而得。月次十二，往来盈亏。五星参差，进退有期。判为寒暑，分为四时。太史司天，咸用周知。制诸法象，各有攸施。萃于用者，玲珑其仪。十万余目，经纬均布。与于同体，协规应距。遍体虚明，中外宣露。玄象森罗，莫计其数。宿离有次，去极有度。人由中窥，目即而喻。先哲实繁，兹制尤未。逮我皇元，其作始备。实用于理，匪凿于智。于万斯年，宝之无坠。

另一段资料，是元末明初叶子奇撰的《草木子》中记载的：玲珑仪"镂星象于其体，就腹中以观之，以出色目人之制也"。这本是说得十分清楚的事。

争论发生于对两段资料的不同理解。

首先是对铭文的不同理解。赞成为中空假天仪的认为"十万余目"，经纬均布，

遍体虚明，中外宣露，人由中窥，目即而喻，是十分明确的描写。它是中空，总有众多代表星象小穴的。由内向外看的假天仪。

认为是浑仪者，则这些说明也可作浑仪解释的内容，并举出《草木子》中记载有不实的一些例子。其中李约瑟①、潘鼐②支持浑仪说，李迪③、山田庆儿④、薄树人⑤等则支持假天仪说。

作者倾向假天仪说，除对文献中语句的理解观点外，还在于"玲珑"的意义，释为五声，空明貌，雕镂貌，雕镂交疏空明。而环圈交绕的浑仪是不能以玲珑称之的。另外《草木子》的作者叶子奇，曾官巴陵县主簿，于洪武十一年(1378)因事株连系狱，在狱中撰著出狱后编成，内容涉及各方面。被认为较有参考价值，但杂有迷信之说。他是一位知识分子，虽然可能不具天文知识，但有相当文化，思路是清楚的。反对者认为他对于高表及简仪的记载，把高表说成在20尺中腰开孔通日光，把简仪说成是安装于屋脊开孔的圆室中，认为都是捕风捉影之谈。都还是属于事出有因。而人能入于玲珑仪中观测，这种异于任何仪器的情况，是很难捕风捉影而得的。

### (三)明浑仪

明初建都南京，所用仪器为从元大都北京取来的元制仪器。直到正统三年，在行在北京才按南京仪器式样制造浑仪、简仪。正统十一年(1446)钦天监监臣言"简仪未刻度数……请更如法修造，报可"，可见8年前仿制南京的一批仪器简仪是不能工作的。次年，监正彭德清又言："北京，北极出地度，太阳出入时刻与南京不同……景泰六年(1455)又造内观象台简仪及铜壶。成化(1465—1487)中尚书周洪谟复请造睿玑玉衡，宪宗令自制以进"。弘治二年(1489)监正吴昊言"观象台旧制浑仪，黄赤二道交于奎轸，不合天象，其南北两轴不合两极出入之度……故虽设而不用。所用简仪则郭守敬遗制，而北极云柱差短，以测经星去极，亦不能无爽，请修改或别造，以成一代之制"。经同意修改黄道度。





可以认为直到1489年北京的简仪、浑仪都尚不能正常运转。这已是距明开国后的120年了。从正德十六年(1521)漏刻博士朱裕的奏言："晷表尺寸不一，难以准则，而推算历数用南京日出分秒，似相矛盾"，建议由大臣统率来统一考虑安排。

---

① 李约瑟:《中国科学技术史》第4卷,《天文学》,科学出版社,1975年。

② 潘鼐:《现存明复制浑仪源流考》,《自然科学史研究》,1983年,第2卷第3期。

③ 李迪:《对郭守敬玲珑仪的初步探讨》,《北京天文台刊》,1977年,第11期。

④ 山田庆儿:《授时历的道》。

⑤ 薄树人:《试探有关郭守敬仪器的几个悬案》,《自然科学史研究》,1982年,第1卷,第4期。



而竟“疏入不报”未予批准这件事，可知最高领导昏庸的程度。在北京观测推算历书，而竟用南京的日出入时刻，这种情况是难以想象的。这反映着这么一个情况，明太祖定都南京，成祖篡位改都北京，但又怕违背祖制一直不敢把北京称为京师，只称行在即天子行幸所在之处，永乐十九年才称京师，但过了3年在洪熙元年又改为行在，正统六年(1441)才定名京师。还反映在南京的官员衙署的设置另设一套几同北京，虽然由冗、闲员充任，但其意义与上相同。明代封建专制达历史最高程度，对天文也如此，致使明代直到万历后期长达250年的时间内，天文学的发展几乎陷于停顿[①]，从而反映在天文仪器的研制上必然无所作为。崇祯二年(1629)礼部侍郎徐光启兼理历法，制造了一系列西式天文仪器。第二年年底他在《奉旨回奏疏》中曾说“仪者，本台故有立运仪，测验七政高度。臣用以较定子午，于午前屡测太阳高度，因最高之度，即得最短之影，是为南北正线”。可见明末时，简仪还可使用，虽然是用以测正午前后太阳高度的定子午线，精度要求不高，但总算被投诸于应用了。

**(四)清浑仪——玑衡抚辰仪**

《清史稿·天文二·仪象》：“明于齐化门内倚城筑观象台，仿元制作浑仪、简仪、天体三仪置于台上，台下有晷影堂圭表壶漏，清初因之。”

据《清朝文献通考》象纬考载，康熙七年(1668)钦天监请将南京的郭守敬所造仪器运回北京。梅瑴成在《操缦卮言》仪象论中写道：“余于康熙五十二三年间，充蒙养斋汇编官。屡赴观象台测验。见台下所遗旧器甚多。而元制简仪、仰仪诸器俱有王恂、郭守敬监造姓名，虽不无残缺，然睹其遗制想见其创造苦心。”这是纪理安销毁这些仪器的前一年，这些仪器已有残缺。这就是利玛窦在南京鸡鸣山上看到的明初从北京南运的仪器，它的北极出地高度为36度。是不适宜在北京观测的。清军攻占南京在顺治二年(1645)，直到1668年才运回北京，次年命南怀仁督造六件新仪。1713—1714年间梅氏见时已残缺，看来这些仪器在清代没有使用过。而明仿元制的那批仪器中的浑仪(即现存浑仪)，北极出地高度为365 $\frac{1}{4}$度制的40.6度，折合今360度制为40.01度约40°01′，与北京纬度相近。该仪在明代肯定使用过。




康熙初南怀仁制造的六件新式天文仪器及康熙五年纪理安制造的地平经纬仪俱系西洋结构。清乾隆九年(1744)乾隆帝复幸紫薇殿观象台下令按传统结构制造一架仪器即玑衡抚辰仪。清《皇朝礼器图式》卷三：“乾隆九年皇上御制玑衡抚辰

---

① 中国天文学史整研小组，编：《中国天文学史》，科学出版社，第39页。

仪，铸铜为之。”该仪共分内、中、外三层，外层为一固结于基座上的子午双环及与子午双环联结的赤道环；中层为一可绕子午环上南北极枢轴旋转的赤经双环，在赤经双环上固定着一个游旋赤道环，可随赤经双环一齐绕极轴转动；内层为一四游双环，中夹窥衡。此仪结构与浑仪基本相同，只是外层省略了地平环，中层不用黄道环。各环的尺寸为子午环外径 6.3 尺，内径5.66尺；赤道环外径 6.12 尺，内径 5.64 尺；赤经环外径 5.56 尺，内径 5.12 尺；四游仪的尺寸稍少些，窥衡长 4.72 尺。各环上的刻度采用 360 度制及 12 时辰 96 刻制。仪器上附有指时度表、借弧指时度表、指纬度表、立表等附件。这是我国历史上铸造的最后一具浑仪。现陈列于北京古观象台。

**(五)现存浑仪的结构**

现陈列于南京紫金山天文台的明仿元制浑仪，其来源已如上述。原置于北京钦天监观象台，光绪二十六年(1900)八国联军攻入北京，此仪被德国夺去，运往欧洲，陈列于波茨坦宫，第一次世界大战后，根据凡尔赛和约，该仪于 1921 年运回北京归还我国，1931 年前中央研究院天文研究所将它运到南京，陈列在该所的紫金山天文台，近年来经整旧修理由紫金山天文台天文仪器博物馆保存。

结构分外、中、内三层。外层由子午双环、地平环、百刻环构成，互相固结，置于支架上。中层由二至圈双环、二分圈双环、赤道环、黄道双环构成，互相固结。内层由赤经环(四游环)及窥衡组成。各环上的刻度：地平环上刻 24 方位，内侧刻 24 分野。子午环上的刻度为 $365\frac{1}{4}$度制，每 1 度分为 10 格，百刻环上内侧刻度数，每刻分 10 格，外端刻百刻。黄道环，上环内侧刻二十八宿，下环内侧刻二十四节气，赤道环刻二十八宿，其分划同简仪。窥管方形，两端各有直径 17 毫米的圆孔，靠近管身两端的四侧均开有一槽缝，共 8 条槽缝，每缝均通穿管壁。





## 第五节　有关浑仪的一些问题

### 一、中国古代浑仪发展的一个特点

中国古代天文学的发展，除了受到生产和社会需要的推动外，还受星占学的严重影响，因而被皇室直接控制。天文观测的主要仪器浑仪也同样如此。如同颁布历法一样，天文仪器特别是浑仪的制造、使用、保存同样是政权的表征。改朝换代时，胜利者在俘获敌方的府库图书档案资料外，几乎都要带走浑仪等天文仪器。同时，它还是帝王的重要礼器(祭器)，是仪仗的组成部分。



它的发展一直受到官方支持和控制，既有比在民间发展无可比拟的人力财力的优势的一面，又有受限制、局限的一面。

对于浑仪在纯天文科学以外的评论和看法，宋代著名的天文学家、仪器制造专家、铜候仪的制作人韩显符呈送的浑仪制造《法要》的序中所说的话，具有代表性。《宋史·韩显符传》:“通占又云，抚浑仪，观天道，万象不足以为多，是知浑仪者实天地造化之准，阴阳历数之元，自古圣帝明王，莫不用是精详天象，预知差忒，或铸以铜，或饰以玉，置之内廷，遣日官、近臣同窥测焉。”“陛下讲求废坠，爰造浑仪漏刻，星躔晓然易辨，若人目窥于下，则铜管运于上。七曜之进退盈缩，众星之次舍远近，占逆顺、明吉凶，然后修服俾顺其度，省事以退其灾，悉由斯器验之。”这就是中国古代浑仪所处的地位。

## 二、浑仪的制造工艺与周、径尺寸

浑仪绝大多数以铜铸成，工艺复杂，反映了中国古代在机械、铸造等各方面的高度制作、工艺水平。此处，我们仅从其环规之周长及直径来讨论。我国古代因一回归年为 $365\frac{1}{4}$ 日而把周天全圆分为 $365\frac{1}{4}$ 度，在浑仪的刻度上一直用到明末(郭守敬简仪的百刻环上把全圆周分为 3 600 个等间距分划，即 360 度制)。在浑仪各环规的制造上，采取先选每一度的圆周弧长作为标准，以之乘 365.25 即为全圆周长度，再反求直径。这样做是便于分划刻度。例如:《隋书·天文志》浑天仪条载:“太史令张衡，更以铜制，以四分为一度，周天一丈四尺六寸一分”,“蕃今所作，以三分为一度，周一丈九寸五分、四分之三”,浑天象条载“太史令钱乐之……五分为一度，径六尺八分少，周一丈八尺二寸六分少”均是;记载中也有以多少尺寸为 1 度，而只记直径、周长的，情况相同。浑仪的大小与这一种选取法有关，因为要考虑到对最小分划值能分辨和估读的数值，每度分划太小则难于分辨，且刻划不易，太大则仪器庞大制造困难。看来，直径 6 尺左右是从实践中得出的合理数据。




## 三、窥衡望筒孔径大小与周日轮

一些有关浑仪瞄准器构造的叙述中，提供了一个孔径的线尺寸和角尺寸的数值，并说这是周日轮，即太阳的视角直径。

《旧唐书·天文志上》黄道游仪规尺寸，玉衡望筒:“长四尺五寸八分……孔径六分……外方内圆，孔径一度半，周日轮也。”

《宋史·律历志九》皇祐浑仪条:“横萧望筒，长五尺七寸，外方内圆，中通望孔，其径六分，周于日轮。”

对于周日轮的解释，《宋史·天文志》中沈括《浑仪议》说:“其四，衡上下二端皆

径一度有半，周日之径也。若衡端不能全容日月之体，则无由审日月定次。欲日月正满上衡之端，不可动移，此其所以用一度有半为法也。”为了正确测定日、月位置，需使日、月恰正充满视场全部才好，一度半就是日的视直径。

按新唐书黄道游仪望筒给出的尺寸计算，$(\pi\times4.58/365.25)\times1.5\approx6$ 分，即望筒物端孔径 6 分所张之圆心角为 1 度半，无误。可是日、月的视直径平均值分别等于 32′、31′。这是因为观测时人眼在望筒直径另一端，所见的是日、月在浑仪环规上的圆周角，圆心角(即环规刻度)是它的 1 倍。由于太阳有光芒，肉眼直接观测不易看准，往往比实际估计得大些。因此，从望筒一端看太阳，当它几乎充满视场时，它的视直径为 0.75 度约为 46′比 32′约大 50%。在皇祐浑仪的例中，望孔直径为 6 分，相应的圆周角为 37′，这数值就很接近 32′了。两例数字不同，说明因太阳光芒，其周日轮的误差较大。这样，古人论浑仪结构中谈到的周日轮，如给它下定义就是：在浑仪窥管中所见的太阳圆面的角直径，由于观测到的是环规的圆周角，而孔径代表的是环规的圆心角，它的数值比实际大 1 倍。

## 四、浑仪观测误差的来源

应用浑仪观测天体的位置，在规环上得到的坐标位置，一般应包括下列误差：

**1. 仪器误差**

包括仪器各规环轴系在制造中产生的误差，加工出的尺寸形状与几何形状之差，刻度误差，装配误差，如两个环规相交应成某一角度，而实际值与应有值之差等。

**2. 安置误差**





如极轴与北极点方向之差，地平环不处于水平位置，天顶点偏离铅垂线方向等导致的误差。

**3. 观测误差**

包括系统差、偶然差、人仪差等。主要是由瞄准误差造成的。沈括在《浑仪议》中已经指出观测时人目所处位置不同而引起的误差：“若人目迫下端之东以窥上端之西，则差几三度。”三度的值可能大了些，他是对极端情况而说的，但确是一种观测值的主要误差源。古代浑仪观测时，不可能在对称于视场中央位置做对称的多次观测，根据多次观测值(及相应时刻)取平均值，以提高观测精度，那只有在光学望远镜的焦面上安装丝网后才能做到。又无法以正倒镜来抵消诸如视准差、轴系、度盘误差。总之，单次以人眼瞄准的观测误差是不容忽视的。

在研究天体测量史、天文仪器史的工作中，对于观测结果精确度的研究十分重要。而对上述误差至今似尚无人做过分析研究。



古代观测方法及处理内容，由于缺少资料难于了解。仪器各部制造的误差也不易测得。对于这些可以理论分析来估计。而瞄准误差则是可通过模拟观测来得到的。例如在经纬仪上装置类似窥管的肉眼瞄准器，多次瞄准一目标，而从度盘读数的离散程度以计算瞄准的偶然误差，而从不同观测者的观测数值可得瞄准的系统差、人仪差。得到这些实验数据精确度的量级也许有助于我们研究古代观测资料的精确度。

## 五、浑仪观测中赤、黄道坐标系的坐标值

为了确定天体在天球中的位置，必须建立天球坐标系，为此需在天球上设定坐标系的基点和基圈。古代用的坐标系有赤道坐标系、黄道坐标系和地平坐标系。中国古代主要应用赤道坐标系。这里仅介绍古代坐标值与近代坐标值的不同之处。

### （一）赤道坐标

承袭了古代计量二十八宿位置的传统。它的两个坐标值是入宿度和去极度（图 13－5）。

入宿度为该天体与二十八宿中某宿距星的赤经差。自每一宿中选取一颗恒星作为测量天体坐标的标准，该星为这一宿的距星。下宿距星与本宿距星之间的赤经差为本宿的赤道距度简称距度。一天体在某宿距星之东，且其赤经差小于该宿距度，则称入该宿，这赤经差即为入宿度，写成入某宿若干度。







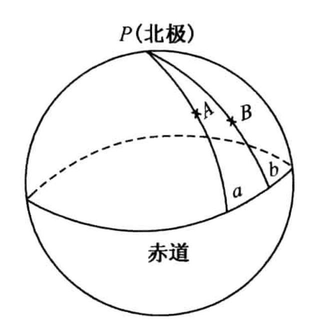



图 13－5　入宿度和去极度

若 $A$ 为二十八宿距星，$B$ 为另一天体，则 $B$ 天体的入宿度为$\overset{\frown}{ab}$，去极度为$\overset{\frown}{PB}$

去极度为天体至北天极的角距，即 $90°-\delta$。

各宿距度最大者为井宿达 28 度，最小者为觜宿仅 2 度。入宿度、距度、去极度约在战国时代就出现了。

### (二)黄道坐标

某宿的黄道距度,即过本宿距星的赤经圈与过下宿距星的赤经圈所夹的黄道弧长。

黄道入宿度是过该星的赤经圈与过距星的赤经圈所夹的黄道弧长。

去黄道度数是另一坐标值,是自通过该天体的赤经圈与黄道的交点起,循该赤经圈到该天体的赤经弧长。

这种坐标值可称为似黄道指标(图 13－6)。

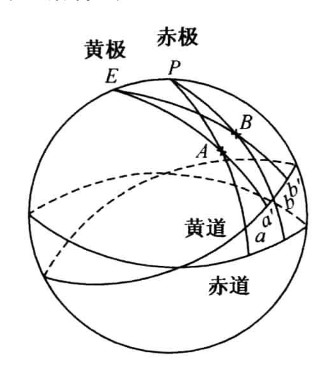



图 13－6　似黄道度数

中国古代认为$\overset{\frown}{ab}$是天体 $B$ 的黄道入宿度,$\overset{\frown}{Bb}$是天体 $B$ 的去黄道度数

真正的黄道坐标系中,$B$ 的黄道入宿度应为$\overset{\frown}{a'b'}$,去黄道度数应为$\overset{\frown}{Bb'}$

采用这种计量方法的原因是黄道铜仪只是对于赤道式浑仪上加一黄道圈而成。这种计量方法是对东汉天文学家用黄道铜仪测量所得的二十八宿距星的黄道距度值,经分析而得知的。



而从东汉人对月亮运动的计算中所用的黄纬值都是真正的黄纬值。

### (三)地平坐标

一个坐标值是地平经度即方位角。汉代以十二支表示,或以四维、八干、十二支来表示 24 个方位。每个方位代表一定的角度范围。

浑仪地平环上,通常只刻 24 个方位。

另一个坐标值地平纬度(高度角),浑仪上的北极出地高度是仪器极轴在子午圈上的高度角。面对其他方位,则由于四游仪系绕极轴旋转,无法测得地平高度值。虽然可用其他仪器测量天体或目标的高度角,而在浑仪上则不能。直到郭守敬发明了简仪,才可从它的立运仪上同时测定天体的地平经度和地平纬度。



## 六、古代分数记数表示法

中国古代对于个位数以下用分数表示而不用小数。古代浑仪环规上的分度刻划长期以来采用的最小分划值为 1 度，即每度一个刻划，度以下就不再分划了。观测读数时估读到半度，宋以后才有 1/4 的记载，即 1/4 为少，2/4 为半，3/4 为太，虽然计算值已用到小数。

郭守敬简仪上的刻划则已到每度再分为 10 等份即合今 60 进位制中的 $6'$，如以估读 1/2 格计为 $3'$，比前提高了 5～10 倍。

现将古代以分数表示的名称及代表的数值，按《后汉书·律历志下》历书中所列的给出于下，供使用时参考（表 13－1）。它们仅用于计算中，观测数值如上所述是达不到这一精度的。

表 13－1 古代分数记数表示法

| 名称 | 度强 | 少弱 | 少 | 少强 | 半弱 | 半 | 半强 | 太弱 | 太 | 太强 | 度弱 | 整度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 代表的分数 | $\frac{1}{12}$ | $\frac{2}{12}$ | $\frac{3}{12}$ | $\frac{4}{12}$ | $\frac{5}{12}$ | $\frac{6}{12}$ | $\frac{7}{12}$ | $\frac{8}{12}$ | $\frac{9}{12}$ | $\frac{10}{12}$ | $\frac{11}{12}$ | $\frac{12}{12}$ |





# 第十四章　浑　象

中国古代史籍记载常把测量仪器浑仪与显示、表演仪器浑象(又称浑天象)通称浑天仪。历代天文律历志中的记载也不统一,尤其是当称为浑天仪时如无更详细的记载,往往难于判别指的是浑仪抑或浑象。

浑仪是测量仪器,自是十分明确。

浑象主要是表演仪器,形如今之天球仪,但也有体型巨大中空,可容人入内自内向外观看的。不仅如此,有时还兼作换算仪器,即充作黄道坐标与赤道坐标的换算之用,采取在球面上量取的方法进行换算。

浑象在早期的发展中即推动了机械传动机构的发展。为使浑象的表演逼真,设计制造者设法使它绕极轴以天球自转相同的速度运转,使与自然天象及其变化保持同步,这就需要动力和传动。前者采用我国很早就已发展且水平不断提高的漏刻下滴的漏水为动力,同时反过来也推动了漏刻精度的提高;后者则采用机械传动系列来完成,进而又发展成以漏水为动力通过机械传动而制成的自动报时系统(如定时由木人击鼓鸣钲或推出代表相应时刻的报时牌、契)。它是机械时钟的前身,我国古代在宋元已发展到很高水平。

由于中国的天文工作与星占学的关系密切,自古以来天文学一直由帝王及政府直接控制,作为天文仪器的浑象不能例外。它还以表示皇权的代表物、礼器的姿态出现。与编制历法、设立天文机构和天文台一样,仪象的制造使用与保存列入皇权的内容。





浑象的出现时代虽迟于漏刻、圭表,年代也十分久远,源远流长,直到清代。从某种角度来说,它不同于其他古代天文仪器的是,当古代天文仪器逐渐被近现代天文仪器淘汰后,浑象作为表演显示仪器,即在今天,在天文、航海、大地测量等的教学工作中,却还以它原始的形状起着不可代替的作用。天球仪至今仍在生产出售和应用。

浑象和浑仪长期以来名称混用,其原因盖在于仪、象两者的起源相同又有着十分密切的关系所致。而天文律历志中常在浑天仪或仪象的分节中,既有区别又作有机联系地叙述它们。



## 第一节　浑象的由来

最初见诸史籍的几段记载是：

(1)《史记索隐》引《益部耆旧传》中有关汉初天文学家落下闳的介绍："闳字长公，明晓天文，隐于落下。武帝征待诏太史。于地中转浑天，改颛顼历，作太初历。"

(2)西汉末年扬雄在《法言・重黎》篇中说"或问浑天。曰落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之"。

记载中追溯浑象(或浑仪)出现得更早的年代为《隋书・天文志上》浑天仪条："唐尧即位，羲和立浑仪。"

上述两条记载中包含浑仪、浑象两种关系密切而又不同的仪器。

浑仪起源的讨论，可以从司马迁在《史记・天官书》引《尚书・舜典》："北斗七星，所谓璇、玑、玉衡以齐七政。"开始，讨论璇玑、玉衡是指仪器抑或北斗七星以及浑仪……测量仪器的早期结构如何等问题。浑仪的前身可能是平面形状，以后发展成球形。

浑象则不然，它的早期形状、前身都只能与它成熟后的形状基本相同，只是繁简的区别。扬雄在《法言》中说的那段话包含这种意义：落下闳提出了一个浑天(学说)，鲜于妄人用来测量天体位置，耿寿昌用来(或经改进、改造、制作后)演示按浑天说描述的天球运动。

落下闳编制太初历时在公元前104年，鲜于妄人在元凤三年(前78)张寿王任太史令时担任主历使者，耿寿昌则在甘露二年(前52)"奏以圆仪度日月行"，而扬雄则生活于公元前53年至公元18年。自落下闳营之到耿寿昌象之历经了50年之久。耿寿昌在宣帝时任大司农中丞，曾长期观测日月运动，发现了日月运动按赤道度数计算的不均匀性。因为黄赤有交角，日月依黄道行，而在赤道度量所致。他以"圆仪度日月行"可能就是以浑象来量度这两者的关系，这也许是最早有关浑象的记载。




浑象的出现与浑天说宇宙论有关。

浑天说至迟在落下闳时已有(未见更早的记载)。而到张衡(78—139)时基本成熟。他的《浑天仪图注》是浑天说的代表作。在《图注》中他写道：

> 浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡中黄，孤居于内，天大而地小，天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄……周天三百六十五度四分度之一，又中分之则一百八十二度八分度之五覆地上，一百八十二度八分度之五绕下。故二十八宿，半见半隐。其两端谓之南北极。北极乃天之中也，在正

北，出地上三十六度……南极天之中也，在正南入地三十六度……两极相去一百八十二度半强。天转如毂之运也，周旋无端，其形浑浑，故曰浑天。

随后张衡对黄道赤道的定义、二分、二至时太阳的赤道位置、去极度数、浑象的制作方法、黄道度数与赤道度数的计量和换算方法等做了叙述。张衡的浑象是有明确具体记载的最早的一具仪器。在他以前的浑象，如上面提到的耿寿昌的则无具体记载，难于查找其详细结构。

浑天说是继盖天说以后产生的宇宙说，由于它类似现今球面天文学那样设定了一个天球来解释一些天体的视运动情况，且构造了坐标系，以赤道坐标来表示太阳位置。对黄道是“日之所行也”及黄赤交角成24度等都做了正确的介绍，这些关系对于测量天体位置、计算天体坐标值等工作，都有实际的有效的作用。因而得到了快的发展。浑仪和浑象正是因此而发展起来的。

《宋书·天文志一》中说：“古旧浑象以二分为一度，凡周七尺三寸半。张衡更制，以四分为一度，凡周一丈四尺六寸。蕃以古制局小，星辰稠概，衡器伤大，难可转移，更制浑象，以三分为一度，凡周天一丈九寸五分四分之三也”。蕃为王蕃，三国吴人，他曾“传刘洪《乾象历》，依其法而制浑仪”。

可知张衡虽不是第一个制浑象者，但是他是浑天说重要著作《浑天仪图注》的撰写人，及第一具有详细记载浑象的制造者。我们将从张衡的浑象开始讨论。

## 第二节　张衡的浑象

张衡的《浑天仪图注》(又名《浑天仪注》)是他制造浑象的说明书。已佚。清洪颐煊《经典集林》卷二十七有辑文。《续汉书·律历志下》历法中有注，摘录自《浑天仪图注》，对于浑象制作及由黄道度数求赤道度数这部分甚详。



稍后时代的《晋书·天文志上》仪象条中，对张衡浑象做了概括描述：“至顺帝(126—144)时，张衡又制浑象，具内外规、南北极、黄赤道，列二十四气、二十八宿中外星官及日月五纬，以漏水转之于殿上室内，星中出没与天相应。因其关戾，又转瑞轮蓂荚于阶下，随月虚盈，依历开落。”

张衡的浑象以球面上4分为1度，这是一个直径4.65尺圆周14.61尺的大圆球。球面上绘制了中、外星官，日、月、二十八宿，常显圈、常隐圈、黄道、赤道、五星等。整个圆球可绕南北极轴旋转；其中日、月、五星由于相对恒星运动，也许是缀在球面上，可以移动位置的。

这具浑象的特点是由漏水为动力，通过机械传动，能够自动地运转。旋转速度和天球旋转速度一致，使得浑象在地平框架上的那部分点绘的星宿与真实星空中



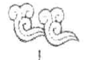
的星象完全一致。随着星空中天体的东升西落，浑象上的情况也完全相应。这种浑象除了在天文测量上的实际应用外，有力地证明了浑天说宇宙论的正确性，具有理论和实际两方面的作用。漏水还带动了一个瑞轮蓂荚的装置，能随月相的盈亏，显示出一个月中日期的推移。蓂荚是一种瑞草，《帝王世纪》："尧时有草夹阶而生，每月朔生一荚，月半则生十五荚。自十六日一荚落，至月晦而尽……名为蓂荚"。

这是张衡制作的浑象，又称漏水转浑天仪。它的演示内容正如上述。

他的测量功能是换算太阳的黄赤道位置。

《续汉书·律历志下》的注"张衡《浑仪》曰：上头横行第一行者，黄道进退之数也。本当以铜仪日月度之，则可知也。"这个铜仪，想必是张衡作的类似耿寿昌、贾逵的那种仪、象两用，而以测量为主的浑仪。但接下去又说"以仪一岁乃竟，而中间又有阴雨，难卒成也。是以作小浑，尽赤道黄道，乃各调赋三百六十五度四分之一，从冬至所在始起，令之相当值也。取北极及衡[1]各针穿之为轴。取薄竹篾穿其两端，令两端中间与浑半等，以贯之，令察之与浑相切摩也。乃从减半起，以为百八十二度八分度之五，尽冲针之半焉。又中分其篾，拗取其半，令其半之际正直，与两端减半相直。令篾半之际从冬至起，一度一移之，视篾之半际多少黄赤道几也。其所多少，则进退之数也。从北极数之，则去极之度也"，"分赤道黄道为二十四气，一气相去十五度三十二分度之七度，每一气者，黄道进退一度焉。所以然者，黄道直时去南北极近，其处地小而横行与赤道且等，故以篾度之，于赤道多也。设一气令十六日者，皆常率四日差少半也，令一气十五日，不能半耳，故使中道三日之中差少半也。三气一节，故四十六日而差今三度也。至于差三之时，而五日同率者一；其实一节之间，不能四十六日也。分残日居其策，故五日同率也；其率虽同，先之皆强，后之皆弱，不可胜计。取至于三而复有进退者，黄道稍斜，于横行不得度故也。亦每一气一度焉，三气一节亦差三度也。至三气之后稍远而直，故横行得度而稍进也。立春、立秋横行稍退，而度犹云进者，以其所退减其所进，犹有盈余未尽故也。立夏、立冬横行稍进而度犹退者，以其所进增其所退，犹有不足未毕故也。以此论之，日行非有进退也；而以赤道量度黄道使之然也。本二十八宿度数，以赤道距耳，故黄道亦有进退也。冬至在斗二十一度少半，最远时也；而此历斗二十二度二十一，俱一百十五度，强矣，冬至宜与之同率焉。夏至在井二十一度半强，最近时也；而此历井二十一度一十，俱六十七度强矣，夏至宜与之同率焉。"

张衡在制成铜浑象后，为了确定黄道和赤道相应度数之差，若直接以浑仪测量需连续观测一年才能完成。因此他又制了一具小浑象，上有黄赤两道从冬至点起

① 应为冲(衢)，据洪颐煊《经典集林》辑文。

各绕圆周刻 365 又 1/4 度的刻度，而以类似于四游仪上的赤经环来量出相应黄赤道上刻度之差。它是用薄竹片制成的，两端分别穿在浑象的南北极点上，竹片与浑象表面相切。把两个穿眼之间的半圆弧段的竹片，分成 182 又 5/8 度。竹片可绕极点回转，从它与黄、赤道相交处的读数，即可得到相应的黄赤道度数的差值，即“黄道进退之数”及从有刻度的篾片上读出北极到相应黄道点的去极度数。

张衡的这种浑象，无疑对于天体测量、历法工作有重要意义，虽然它不是测量天体位置的测量仪器——仪，而是一种归算图解仪器。

《晋书·天文志上》天体，引葛洪对于张衡浑天仪的评价“张平子既作铜浑天仪，于密室中以漏水转之，令伺之者闭户而唱之。其伺之者以告灵台之观天者曰：‘璇玑所加，某星始见，某星已中，某星今没。’皆如合符也。崔子玉为其碑铭曰：‘数术穷天地，制作侔造化，高才偿艺，与神合契’。”

张衡的浑象开创了我国水运浑象之先河，对于后代有很大的启发，为唐宋及以后各种自动报时仪器的开创者，它的发展成为世界机械天文时钟的祖先。

## 第三节　历代浑象

浑象的产生和发展与浑天说宇宙论的发展直接有关。后汉张衡以后，在浑天说的发展过程中，一些浑天家都制造过浑象。

早期，由于浑天说系脱胎自盖天说，自不免在一些方面尚不完善。宇宙学说除了在宏观上给出宇宙模型外，它还要解释天体测量方面的问题，即解决实际问题。盖天说在解释天体的视运动时，采用的是七衡六间图（盖图），以平面图当然不能准确地解释天体在天球上的球面视运动，而浑天说采用的浑象则能解释，浑仪则能观测。尤其是随着天体测量学的发展，观测精度日益提高，在测定天体位置、编制历法等方面的要求不断提高后，浑天说逐渐占主导地位。

西汉扬雄在《法言》中介绍浑天、浑仪、浑象，在此以前他是赞成盖天说的，被桓谭说服后转而推崇浑天说。

因而历代许多宇宙论家也制作浑象以阐述他们的学说。

使浑象能自动模仿天球那样同步旋转，让浑天说宇宙得到逼真的反映，这就是自张衡起许多浑象都以漏水带动令其自动旋转的原因。

### 一、三国至隋以前浑象

三国时吴国的陆绩、王蕃都制造过浑象。《三国志·陆绩传》：“作浑天图注”，《宋书·天文志一》：“汉末吴人陆绩善天文，始推浑天意。”又引王蕃的介绍“而陆绩



造浑象，其形如鸟卵”。这是根据以前的浑天家说的“天地之体，状如鸟卵，天包地外，犹壳之裹黄也”而作的。就是张衡的，《浑天仪图注》中一开始也是说“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡中黄，孤居于内”。以鸡卵、鸟卵作一种生动的比喻则可，作为蛋形而非圆形那就是理解得太形式主义了。难怪同时代稍后的王蕃在介绍了陆绩造浑象其形如鸟卵后，接着评论“然则黄道应长于赤道矣。绩云天东西南北径三十五万七千里，然则绩亦以天形正圆也。而浑象为鸟卵，则为自相违背”。陆绩制的浑象是蛋形的，但陆绩在说明中又说了天的圆径相同，自相矛盾。

陆绩的浑象也许是一个外面成蛋形代表天，而中心是圆球形（卵黄）代表地的形式。

以后再也没有人制造过卵形的浑象了。

与陆绩相同时代而稍后的吴国王蕃也制造过浑象。《晋书·天文志上》仪象中说他“传刘洪乾象历，依其法而制浑仪”。王蕃是一位浑天家。他认为古旧浑象的圆周以二分一度太小，众多星辰安排得太挤，张衡以四分为一度又太大，转动不便，他“以三分为一度，凡周天一丈九寸五分四分之三”，除了尺寸上的变化外，与张衡的浑象可能无大差别，其他情况就不清楚了。吴国葛衡也制作过地居天中，以漏水转动的浑象。

宋文帝元嘉十三年(436)令太史令钱乐之铸浑象。因为屡经战乱，张衡、王蕃等前朝铸的浑象都已无存。他铸的浑象直径6尺8分少，周1丈8尺2寸6分少，有黄赤道、二十八宿、北斗极星，黄道上有日月五星。这浑象是以漏水带动的，可能是镂空的或以环圈构成的球体，因为在表示天球的星空之中，球心处有一代表地球的球体即《宋书·天文志》中说的“地在天内”。元嘉十七年，又作以1分为1度，直径2尺2寸的小浑天，“以朱黑白三色，用殊三家，而合陈卓之数”。三国时吴太史令陈卓（历任西晋、东晋太史令）整理编纂了古代甘氏、石氏、巫咸氏三家星经，绘制成图，总计有254官1 283星及二十八宿及辅官附座182星，总计283官，1 565星。钱乐之用红、黑、白三种不同颜色的标志，绘缀在浑象上。钱的这座浑象一直传到隋代，作为训练太史局观生辨识星官的教具。南朝梁的陶弘景，据《南史·陶弘景传》：“又常造浑天象，高三尺许，地居中央，天转而地不动，以机动之，悉与天相会云。”

上述葛衡、钱乐之、陶弘景等人的浑象，有一特点就是在天球中心有一不动的地球。中国古代的宇宙论学说，据东汉蔡邕《表志》：“言天体者有三家，一曰周髀，二曰宣夜，三曰浑天。”其中宣夜说只是一种宇宙论思想，不能作为一种宇宙结构体系（它没有也不能提供天体视运动的规律）。到三国至东晋期间，又出现了吴国姚信的昕天论，东晋虞耸的穹天论和东晋虞喜的安天论，对于宇宙论的讨论处于一个




热烈兴旺时期，因此浑象中出现的“地居天中”结构的原因就不仅是从天体测量角度考虑而来的了。

在这一时期，具代表性的浑象，有梁(502—557)的木制浑象。《隋书·天文志上》浑天象：“浑天象者，其制有机而无衡，梁末祕府有，以木为之。其圆如丸，其大数围。南北两头有轴。偏体布二十八宿，三家星，黄赤二道及天汉等。另为横规环，以匡其外。高下管之，以象地。南极头入地，注于南极，以象南极。北极头出于地上，注于北极，以象北极。……不如浑仪，别有窥管，测揆日月，分步星度者也。”这是一个实体木球。又引“吴太史令陈苗云：先贤制木为仪，名曰浑天，即此之谓耶!”可知三国以前即有木制实体浑象了。

## 二、隋唐北宋的浑象

隋代历时短暂。隋书天文律历志中未载有关浑象的制作情况。《隋书·耿询传》：“询创意造浑天仪，不假人力，以水转之，施于暗室中，使智宝(高智宝，询从之受天文算术)外候天时，动合符契。”耿询是位巧匠，还曾制作古欹器、称水漏器、候景分箭上水方器、马上刻漏等仪器。钱乐之在元嘉年所造的浑象“宋元嘉所造仪象器，开皇九年平陈后，并入长安，大业初，移于东都观象殿”，耿询是能看到的或了解到的。他的浑象比前人可能没有多大的改进。《隋书》中“不假人力，以水转之”，有的研究者认为“不假人力”四字，前此未出现于史籍，可能过去浑象需人力帮助[①]。也许这是行文措词，如张衡的漏水转浑天仪，在运转过程中大概不会由人去做微动之类的动作，否则不会有“皆如合符也”的评价。

这一时代的浑象见诸史籍的还有：《北史·元岩传》中记载的“岩卒后，蜀王(隋文帝子)为非法造浑天仪”。这可能是一种寻常的浑象，但曰“非法”足可见作为礼器的浑象，其制造使用属于帝王专权，即使封王爵者，亦不能任意制造。该段史籍说的是蜀王杨秀违法得罪的罪名之一。



### (一)唐浑象

唐代首起因天文工作需要而提出制作浑象的当推玄宗时天文学家南宫说的建议。据《唐会要》开元八年(720)六月十五日：“左金吾卫长史南宫说奏，浑天图空有其书，今无其器，臣既修九曜占书，须量较星象，请造两枚，一进内，一留司占测，许之。”南宫说的浑象，是否由漏水带动，有无其他特点，因无史料不得而知。

唐代著名的浑象是著名天文学家一行与梁令瓒制的浑天铜仪。开元九年，一

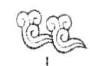
① 《中国天文学史》，科学出版社，第196页。



行为治历，欲知黄道进退，而与梁令瓒制作黄道游仪，开元十一年制成。玄宗又命他们造浑天铜仪。《旧唐书·天文志上》：

又诏一行与梁令瓒及诸术士更造浑天仪，铸铜为圆天之象，上具列宿赤道及周天度数。注水激轮，令其自转，一日一夜，天转一周。又别置二轮络在天外，缀以日月，令得运行。每天西转一匝，日东行一度，月行十三度十九分度之七，凡二十九转有余而日月会，三百六十五转而日行匝。仍置木柜以为地平，令仪半在地下，晦明朔望，迟速有准。又立二木人于地平之上，前置钟鼓以候辰刻，每一刻自然击鼓，每辰则自然撞钟。皆于柜中各施轮轴，钩键交错，关鏁相持。既与天道合同，当时共称其妙。铸成，命之曰水运浑天俯视图，置于武成殿前，以示百僚。

这是一具漏水转动的铜浑仪。球上缀有列宿星象。特点是除了铜球每天运转一周外，球外还有缀有日、月的两个轮环，也受水运带动，能显示出日、月在恒星中的运动。张衡的浑象上虽也有日月五星，但没有单独带动它们相对浑象球体运转的环，而只是“星中出没与天相应”。无疑在自动化机构方面更为复杂。另外，漏水还带动了一套自动按刻击鼓，按辰撞钟的报时系统。是自动计时仪器钟表的滥觞。它之称为俯视图，意为是从天球外（上方）俯视到天球形象，以别于另一种观测者（人）从浑象内部看到的天球。这台浑象“无几而铜铁渐涩，不能自转，遂收置于集贤院，不复行用”。大凡由漏水带动，自动运转的机械装置，是必须不断精心维护调整的，铜铁锈蚀，部件磨损，都会造成转动滞涩，不能经久持续地保持正常运转。这种浑象如仅作为天文仪器，天文家在实际工作中不需靠它持久不断地运行来解决问题；而如作为精密仪器的礼器，在这方面又没有精通此行的专家来维修保养，它们就常常不能如观测仪器浑仪那样能长期运转。该仪在开元十三年冬十月制成。“置于景运门内，以示百官。”

这台开元水运浑象，按其运行要求应比张衡的漏水转浑天仪高得多。前者如按设计要求，需在一年中连续运转，才能表演出日月会合的情况，而后者仅只需满足每天中的正常运行即可。

### (二)宋浑象

宋以前的浑天仪，还有五代十国中南唐昇元二年(938)的。陈霆《唐余纪传·国纪第一》:“开元二年五月作浑天仪。”

北宋太宗太平兴国四年(979)，巴中人张思训创制的太平浑仪是继张衡、一行与梁令瓒的浑象后的著名的集水运浑象、自动报时于一体的浑象。

《宋史·天文志一》仪象：

其制，起楼高丈余，机隐于内，规天矩地。下设地轮地足，又为横轮、侧轮、斜轮、定身关、中关、小关、天柱；七直神、左摇铃、右扣钟、中击鼓，以定刻数，每一昼夜周而复始；又以木为十二神，各直一时，至其时则自执辰牌，循环而出，随刻数以定昼夜短长；上有天顶、天牙……布三百六十五度，为日月五星，紫微宫、列宿、斗建、黄赤道，以日行度定寒暑进退。开元遗法，运转以水，至冬中凝冻迟涩，遂为疏略，寒暑无准。今以水银代之，则无差失。冬至之日，日在黄道表，去北极最远，为小寒，昼短夜长……寒暑进退，皆由于此。并著日月象，皆取仰视。按旧法，日月昼夜行度皆人所运行。新制成于自然，尤为精妙。以思训为司天浑仪丞。

太平浑仪是张思训于太平兴国四年提出（设计或模型），太宗“诏工造于禁中，逾年而成”，即在太平兴国五年制成。它的结构和特点是：

（1）为避免冬季冰冻，影响运转，是以水银代水作为漏水，以为动力的自动运转报时的综合性仪象台；

（2）从浑象角度来看，它能显示太阳在黄道上的周年视运动位置，这是决定昼夜刻数、节气、寒暑的因素。日月的行度是由机构自动控制的。“皆取仰视”可能是观测者能进入浑象腹里从内向外看，型如今日的假天仪投影在天穹银幕上的星象。还能显示不同日期北斗七星斗柄的指向。

（3）机械结构复杂巧妙。除带动浑象、日月运转外，它能通过七直神来摇铃、扣钟、击鼓报告刻数。又有木制十二神，执时辰牌，按时出来显示时辰。并能显示出不同季节的昼夜刻数。这可能是由太阳在黄道上的位置，来启动不同季节的昼夜刻数显示牌。





这是一座高1丈多的大型设备。《玉海》卷四：“思训叙其制度云：浑仪者法天象地，数有三层。”下二层是报时部分，上层为浑象，大约如此。引文中出现了不少机械零部件的名称，与尔后苏颂、韩公廉的水运仪象台中的零部件大致相同。由于张思训仅官至司天浑仪丞，又没有如苏颂那样传下《新仪象法要》这部中国古代最详尽的天文仪器专著，史籍资料有限，以致后者享誉。苏颂《新仪象法要》进仪象状中说到太平浑仪“逾年而成，诏置文明殿东鼓楼下，题曰太平浑仪，自思训死，机绳断坏，无复知其法制者”，也落得个如同上述那具复杂结构浑象的同样下场。

### （三）苏颂和韩公廉的水运仪象台

达到我国古代浑象制作高峰的是苏颂和韩公廉协作的水运仪象台（图14—1）。苏颂（1020—1101），福建南安人，著名政治活动家、药学家和天文学家。苏颂于22岁与王安石中同榜进士，官至左光禄大夫守尚书、右仆射兼中书门下侍郎，死



后赠司空，勋上柱国，封魏国公。哲宗元祐元年(1086)任吏部尚书的苏颂，检验当时天文院和太史局的天文仪器，发现原来的浑仪年久失修，难于使用，奏请另制仪器。诏命他"定夺新旧浑仪"，他推荐"通九章算术，常以勾股法推考天度"的科技人才吏部令史韩公廉(令史为低级办事吏员)。由韩公廉起草一份设计方案《九章勾股测验浑天书》，造出一架"木样机轮"。经批准于元祐三年完成"小样"，经试验后制"大木样"，历时 6 年于元祐七年正式仪器才完成，称元祐浑天仪象，今通称水运仪象台。《宋史·天文志一》仪象节仅记载："元祐间苏颂更作者，上置浑仪，中设浑象，旁设昏晓更筹，激水以运之。三器一机，吻合躔度，最为奇巧"。《金史·历志》所载稍详。他自元祐八年起专心撰写详细介绍浑仪、浑象和水运仪象台结构、设计和制作情况的天文仪器专著《新仪象法要》一书，历时 3 年，于绍圣三年(1096)他 76 岁高龄时才完成。这是一部中国古代流传下来的最详细完备的天文仪器专著，全书并附有全图、分图等 60 多幅，绘有机械零件 150 多种，及据实测绘制的星图。使得我们至今对这座仪象有一完整全面的了解。

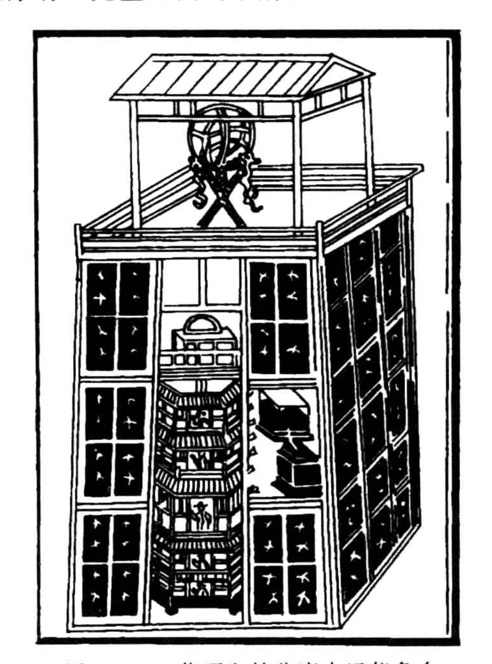


图 14—1 苏颂和韩公廉水运仪象台



《新仪象法要》进仪象状说，这座仪象采取从张衡以来的浑象的优点，"今则兼采诸家之说，备存仪象之器共置一台中，台有二隔，浑仪置于上而浑象置于下，枢机轮轴隐于中，钟鼓时刻司辰运于轮上，木阁五层蔽于前，司辰击鼓摇铃执牌出没于阁内，以水激轮，轮转而仪象皆动，此兼用诸家之法也"。这是一座以漏水转动，分

上中下三层的大型仪象台。上层为浑仪，中层为浑象，下层为轮机；显示及击报时刻的装置分为五层放在机轮前，五层各有木人，“第一层时初木人左摇铃，刻至中击鼓，时正右扣钟；第二层木人出报时初及时正；第三层木人出报十二时中百刻；第四层夜漏击金钲；第五层分布木人出报夜漏箭”。这些功能比一行的浑天铜仪和张思训的太平浑仪要多得多。例如第四、五层功能的更具体的动作过程：“正中开一门，每日入、昏、五更、待旦、晓、日出，木人皆击金钲以应第五层司辰，第五层司辰出报夜漏等，日入后二刻半为昏，昏为初更，每更有五筹，更尽为待旦十刻，待旦十刻后晓，晓后二刻半为日出。”各种不同时刻，由穿着不同颜色服装的司辰木人出来报时：“其日入，服绯司辰出报；昏二刻半，服绿司辰出报。更有五筹，初一筹，服绯司辰出报更初。余四筹，服绿司辰各出报。……司辰各执牌出见于中门之外。”由司辰木人执牌，从中门中出来显示牌上的时间，显示内容很多。报告一年中昼夜漏刻数，每年使用 61 根刻箭。

浑象的内容：将浑象球半置于木柜内，木柜上面即为地平；上立天经（子午）圆规，一半在地平上。浑象上的天体仿梁木浑象的制法，并“约梁令瓒、张思训法别为日月五星，循绕三百六十五度，随天运转”。浑象球体直径 4 尺 5 寸 6 分半，上缀有中外星官 246，星 1 281 颗，紫微垣有星官 37，星 183；总共注有 283 星官名称，星 1 464颗。还有两分两至时的《四时昏晓加临中星图》。

它的机构是由天池注入平水壶中的漏水，再注于受水壶，受水壶形状及位置皆如轮之辐，受水而下转，再将水洩于退水壶，这是动力，称枢轮。由枢轮带动位于竖直方向的轴，穿过轴有 8 个位于不同高度处于水平方向的昼夜机轮，分别称为天轮、钟鼓轮、初正轮、百刻轮、拨牙轮、金钲轮、夜箭轮和更筹轮，它们在水平面内转动时天轮可以带动浑象上的赤道牙，其余的则带动五层木阁各层的显示和击打装置。此为构造大致情况。它的传动机构中有两个构件左天锁和右天锁，可能就是相应于后来钟表中擒纵器的重要机构。李约瑟①和王振铎②的研究中，认为它们是近代机械钟表中重要部件锚状擒纵器的雏形。



这台大型仪象，在金人攻取开封后，运到燕京，“天轮、赤道牙距、拨轮、悬象、钟、鼓、司辰刻报、天地水壶等器，久皆弃毁，惟铜浑仪置之太史局候台”，即它的自动机构及浑象毁坏无存，只存上部的浑仪部分了。

### （四）王方士的浑象

宣和六年宰臣王黼曾上言，于崇宁元年（1102）邂逅王方士于京师，王提出一浑

---

① 李约瑟等人的 *Heavenly Clockwork*（剑桥出版社）是专门讨论苏颂水运仪象台的专著。

② 王振铎的研究揭开了我国天文钟的秘密，见《文物参考资料》，1958 年，第 4 期。



象的设计书，曾造一小样，请按样制造三具，徽宗命黼负责制造。结果如何，不得而知。据王黼介绍这具浑象的内容是“其圆如丸，具三百六十五度四分度之一，置南北极、昆仑山及黄赤二道，列二十四气、七十二候、六十四卦、十干、十二支、昼夜百刻，列二十八宿并内外三垣、周天星。日月循黄道天行，每天左旋一周，日右旋一度，冬至南出赤道二十四度，夏至北入赤道二十四度，春秋二分黄赤道交而出卯入酉。月行十三度有余，生明于西，其形如钩，下环，西见半钩，及望而圆；既望，西缺下环，东见半规，及晦而隐。某星始见，某星已中，某星将入，或左或右，或迟或速，皆与天象吻合，无纤毫差。玉衡植于屏外，持扼枢斗，注水激轮，其下为机轮四十三，钩键当错相持，次第运转，不假人力，多者日行二千九百二十八齿，少者五日行一齿，疾除相远如此，而同发于一机，其出殆与造物者侔焉。自余悉如唐一行之制。”

这具浑象用坚木制成，能避免铜铁锈蚀引起的涩滞。日月皆在黄道上，能表演月相的圆缺及上下弦。有司辰寿星，以手指示十二时轮上之时刻，时正时由烛龙吐珠入铜荷。

该浑象的设计出于民间方士，云“自余悉如唐一行之制”，而不以宋代的浑象来比较。崇宁已是北宋末年，张思训、苏颂制作的浑象十分精巧，但北宋垄断禁锢天文，《宋史·天文志一》：“太宗之世，召天下技术有能明天文者，试隶司天台，匿不以闻者，罪论死”，这是已制成的仪象皆置于皇宫或国家的司天台内，平民难以见到和看到有关资料。如果王方士等能见到这些浑象，在此基础上加以改进提高，那么可能会出现更先进的仪象。

## 三、元浑象




据《元史·太宗本纪》：“太宗五年冬十二月敕修孔子家庙及浑天仪”，《元史·世祖本纪》：“世祖至元三年夏五月辛丑以黄金饰浑天仪。”此时元朝尚未建国，修的浑天仪应指浑象，可能是作为礼器看待的。

元至元四年(1267)札马鲁丁制西域仪象八件，其中咱秃哈喇吉即浑天仪，实为测量用的浑仪。至元十三年郭守敬造十三件天文仪器，其中的玲珑仪究为何器，至今尚在研究讨论，有云系浑象，故在浑象章中述及。

《元文类》卷十七载元太史院校书郎杨桓作《玲珑仪铭》这是研究玲珑仪的主要资料。还有元末明初叶子奇撰笔记《草木子》：“玲珑仪，镂星象于其体，就腹中仰以观之，此出色目人之制也”，可供参考。今略述各家研究之结果如下：

(1)认为该仪为浑仪的主要有李约瑟，他在《中国科学技术史》天学章中，根据明末意大利传教士改写的《利玛窦日记》中在南京鸡鸣山天文台的所见，而作此判

断。其次潘鼐在《现存明仿制浑仪源流考》[①]中所做的结论。潘氏的论点主要有：①铭文中“萃于用者，玲珑其仪”，认为13世纪的假天仪尚不能“萃”浑仪、浑象等诸法象之用。“偏体虚明，中外宣露”可释为环圈交义，空而明亮即浑仪的特点；②杨桓《太史院铭》中说“别为小台，苒周庑，以华四外，上指玲珑浑仪”，如是浑象，则不必置于高台。《玲珑仪铭》“十万余目，经纬均布”，球体上每度的经、纬交叉点，不可能有那么多，如有，则如何再凿星孔；③认为草木子作者多捕风捉影之谈。

(2)李迪根据《草木子》记载，认为它是浑象。

(3)日本山田庆儿认为它是假天仪式的浑象。

(4)中国自然科学史研究所的薄树人在《试探有关郭守敬仪器的几个悬案》一文中，则认为是浑象的可能较大[②]。理由是：①《玲珑仪铭》文中“十万余目，经纬均布。与天同体，协规应矩”只能是描叙球面上凿孔的假天仪才说得通。“偏体虚明，中外宣露”不可能是形容仅有环圈结构的浑仪。“人由中规，目即而喻”是指人入其内向上向外看。②利玛窦并未直说看到的浑仪就叫玲珑仪。他说得不确切的地方也不很少。如说看到的那些仪器，北极出地都是36度。而实际为40度。③《草木子》所载固存谬误，但并非全无风影。④《太史院铭》中说灵台之左小台上有玲珑浑仪，也可能是指玲珑仪与浑仪两件仪器；即使指一件，中国古代的浑仪一词含义也往往是指浑象。

玲珑仪究竟为浑仪还是浑象，是一个尚需继续研究探讨的问题(参见第十三章，浑仪中金元明清浑仪的相关内容)。

此外，《元史·世祖本纪》载有“至元二十五年五月壬寅浑天仪成”，“至元二十六年三月乙未铸浑天仪成”，未悉所指是否浑象。





## 四、明清浑象

《明史·天文志一》仪象载“洪武二十四年(1391)铸浑天仪”。此仪置鸡鸣山观象台。正统二年，行在钦天监正皇甫仲和奏言：“南京观象台设浑天仪、简仪、圭表……而北京……未有仪象。乞令本监官往南京，用木做造一从之。明年(1438)冬，乃铸铜浑天仪、简仪于北京。御制观天器铭，其词曰：厥器伊何，璇玑玉衡。玑象天体，衡审天行。……即器而观，六合外仪，阳经阴纬，方位可稽。中仪三辰，黄赤二道，日月暨星，运行可考。内仪四游，横箫中贯，南北东西，低昂旋转。简仪之作，爰代玑衡，制约用密，疏朗而精。外有浑象，反而观诸，上规下矩，度数方隅。”从御制铭文中可知，这铸的铜浑天仪仅一具，乃是浑仪。但明万历时人谢肇淛《五杂俎》

---

① 见《自然科学史研究》，1983年，第2卷，第3期。

② 见《自然科学史研究》，1982年，第1卷，第4期。



载:"京师东偏有观象台,高五丈许,其上有浑天仪一具,如世所图璇玑者……又有铜球一,左右转旋以象天体,以方函盛之,函四周作二十八宿真形南面有御制铭,正统七年作也。"则其中浑天仪系浑仪,而铜球无疑为浑象,其正统七年作的御制铭文,应即为上述正统三年铸的铜浑天仪,史籍记某年铸仪可以理解为该年开始铸,或该年下令铸造,这批仪器可能在正统七年或七年以前铸成,而铭文系七年所制。因为不大可能御制两次铭文。如此,则铭文中"外有浑象,反而观诸,上规下矩,度数方隅"指的是另外的一具浑象。从而可见天文志中"明年冬,乃铸铜浑天仪"是指浑仪、浑象各一具。古代史籍记载对于浑天仪的内容常混淆,于兹可见。总之,直到明晚期以前,在天文仪象的浑象制作上,没有什么特别的新内容。

《明史·天文志一·仪象》:"万历中,西洋人利玛窦制浑仪、天球、地球等器。仁和李之藻撰《浑天仪说》,发明制造施用之法,文多不载。其制不外于六合、三辰、四游之法。但古法北极出地,铸为定度,此则子午提规,可以随地度高下,於用为便耳"。

明末由西洋传教士带进的浑象是与中国传统浑象有所不同的一种仪器。它不是实体的球而是由环圈组成;它的子午圈(及其所带的内层环圈),与地平框架不是固结的,可以在子午平面内按不同的北极出地高度安放(即子午提规);应用365度制;环圈中央有一小地球模型。

利玛窦的《乾坤体义》中介绍的浑象,由地平环、子午环、赤道环、黄道环、赤道南北回归环及一个赤经圈组成,中央为地球。前4个环上刻有360度分划,黄道环上还刻有黄道十二宫及二十四节气。

徐光启等撰的《新法算书》浑天仪说中的浑仪较前一种复杂些。在一个几式木架(架面作为地平)上,外层有地平环(与几面平行)、子午环及一高弧(1/4的地平经圈,可绕天顶转动),中层由两分环、两至环、赤道环、黄道环组成,另有一以黄南极为轴心的1/4黄经环,环末为一个太阳,转动黄经环可使太阳位于黄道上任一点。中层内还有一月球演示环系,一个白道环;一个可绕白极旋转的弧环,端点有一月球模型,转动弧环可使月球位于白道上任一点;白道环与一太阴环斜交,太阴环可绕黄极旋转。中层可绕外层的南北极旋转。另有一个可绕子午圈上两极点转动的百刻环。此外,还有两个游表,一在黄道上,一在高弧上,可用以标定读数。中心为地球。




李之藻《浑盖通宪图说》中的浑象,环圈中心为地球,外层为子午环与地平环,中层由赤经环、黄道环、赤道环、两个回归线环和南、北极规(赤纬环)组成,黄道环上刻有十二宫和二十四节气。内层为太阳运行演示器。由一可绕黄极转动的日轮,日轮上带一太阳模型构成,可使太阳模型位于黄道上任一点。其内还有一个月

球运行演示器，由一个可绕黄极旋转的月轮及一个可在月轮上移动的小环圈组成，月球模型在小环圈上，小环圈中心在月轮上，月球可随小环圈转动。

这种浑象可用来换算坐标值，如地平坐标值与赤道时角坐标值之间的换算等。

清代的浑象，主要是清制八件大型天文仪器之一的天体仪。据清《皇朝礼器图式》卷三："康熙十二年(1673)圣祖仁皇帝命监臣制天体仪，乃古浑象也。"该仪系比利时传教士、钦天监技术负责人南怀仁所制。类今之天球仪，为一直径约 2 米之大铜球。支架上有地平环及子午环，铜球的南北极点处有钢轴，可置于子午环的北极出地及南极处，铜球可绕极点旋转。铜球表面刻有黄赤道，黄道十二宫，及缀有恒星。子午环及地平环上均有 360 度刻度。该仪现陈列于北京建国门外北京天文馆所属之北京古观象台内。另有同一型制的清末小天体仪，现陈列于南京紫金山天文台。据《清史稿·天文二·仪象》还介绍"仪周围皆空五分，以便高弧游表进退。又安时盘于子午规外，经二尺，分二十四时，以北极为心，其指时刻之表，亦定于北极，令能随天体转移，又能自转焉。坐下复设机轮，运转子午规，使北极随各方出地升降，各方天象隐见之限皆可究观矣"。说明它还有一个地平经弧(高弧)，上有游表；还有一个时盘，当装在北天极上，平行于天赤道，可以随天球一齐转动，也能使它单独转动。下设机构以杠杆作用，使子午规环连同天球体，在地平圈上可以任意设置出地高度，即可演示不同纬度地点，不同星象的出没地平情况。这仪亦可作坐标系的转换之用。天体上，恒星按目视星等 6 个等级，以大小不同的焊缀上去的小铜星来区分。

浑象的发生发展与浑天说宇宙论有密切关系，与测量仪器浑仪亦紧密相联。它不仅是一种演示仪器，也是一种坐标换算的仪器。





早期的浑象，为欲充分显示其与天体的周日视运动相关。从张衡起就以漏水转动；自东汉至北宋，漏水转浑象得到高度发展，推动了机械自动报时仪器(机械钟表的前身)的发展，到北宋苏颂、韩公廉的水运仪象台，发展到最高水平。苏颂的浑象是自张衡、一行和梁令瓒，到张思训浑象的逐步提高，是在前人基础上的成果。

测量仪器浑仪及演示和换算仪器浑象，两者关系密切。中国古代常将两者混同称呼。有时区分为浑仪与浑象，有时统称浑天仪或浑仪。例如，《宋书·天文志》："文帝元嘉十三年，诏太史令钱乐之更铸浑仪。"钱乐之实际制作的是浑象。宋张思训所制亦系浑象，而苏颂于《新仪象法要》"进仪象状"中称之为张思训浑仪等。

因而在研究浑仪或浑象时，史料中如仅记载有制浑仪或浑天仪而无具体内容时，往往不易判断，易致错误。

浑象的发展，直接受天文学的发展影响，也受冶金、铸造、机械等制作技术的影响。它还与数学发展有关，例如，当能够应用球面三角学换算坐标值后，浑象就失



去了相当作用。

浑象与天文学的关系在宇宙论方面还与哲学的发展有关。如同其他天文仪器一样，它还是皇权的代表，是礼器的重要内容，而受到帝王的直接关心和控制。优点在于国家可以人力财力来保证它的研制，缺点则是无法广泛吸取人民群众的创造力(不同朝代控制松紧不同，效果亦不同)。

浑象与浑仪，在中国天文发展史中，有近 2 000 年的历史，为中国古代天文学的辉煌发展起了不可缺少的重要作用。

# 第十五章　古代天文台及天文仪器

## 第一节　古代天文台

天文台是放置天文观测仪器进行天文观察、天文测量的场所。中国古代的天文机构一直是由帝王、国家直接控制和领导的，天文台作为天文机构的一个主要组成部分，也一直由国家直接领导。

《诗·大雅·灵台》，孔颖达疏："天子有灵台，所以观祲象察气之妖祥故也，四方而高曰台；以天象在上，须登台望之，故作台以观天也"，"冯相、保章之所观者亦在灵台也"，"天子有灵台以观天文，有时台以观四时施化，有囿台观鸟兽鱼鳖。诸侯当有时台、囿台，诸侯卑不得观天文，无灵台"。由于古代对天之崇敬、帝王自称天子，因而观察天文亦属帝王之特权，只有天子才有灵台——天文台；诸侯位卑，不能有灵台，亦不得观天；民众则更不能建台或登台观察。古代灵台多建在首邑（京都）东南25里，"皆在国之东南二十五里，东南少阳，用事万物著见，用二十五里者，告行五十里，朝行暮反也"。

天文台夏称清台，商称神台，周称灵台。汉称灵台，但有时也称清台。

诸侯不得有天文台，但在天子权势衰弱时，诸侯也就在各自的都城建天文台观测天文。如春秋时鲁国就有自己的天文台，称观台。《左传》僖公五年（前655）："春，王正月，辛亥，日南至。公既视朔，遂登观台以望，而书，礼也。凡分、至、启、闭，必书云物，为备故也。"启为立春、立夏；闭为立秋、立冬。云物，气色灾变，察之以为准备。





《后汉书·光武帝纪下》："中元元年（56），是岁初起明堂、灵台"，唐章怀太子注"汉宫阁疏曰灵台高三丈，十二门，天子曰灵台，诸侯曰观台"。1974年，这台遗址已于河南偃师县发现，是我国目前已发现的最古的天文台遗址，也是世界上较古的天文台遗址。偃师在京城洛阳东部。

东汉以前的天文台址，据《诗·大雅·灵台》，郑氏笺"灵台，杜预注，左传云灵台，在始平鄠县，今属京兆府所管"。鄠县即今陕西户县，在西安市西南。西汉天文台在长安城郊，《三辅黄图》："长安灵台有铜表……题云太初四年造"。

东汉后，长期分裂，各政权在其都城也设有天文台，前赵在长安，北魏在大同，



刘宋在建康均设立有天文台。

隋、唐在长安设天文台。

隋开皇三年(583)都大兴(今西安)。《隋书·天文志上》:“史臣于观台访浑仪……开皇三年,新都初成,以置诸观台之上。大唐因而用焉”。《旧唐书·天文志上》:“贞观初,将仕直太史李淳风始上言灵台候仪是后魏遗范,法制疏略,难为占步。太宗因令淳风改造浑仪……太宗令置于凝晖阁以用测候,既在宫中,寻而失其所在”。可见除天文台外,在皇宫中亦建有放置天文仪器作观测的观象台。

唐代除在长安有天文台外,并在阳城告成于开元十一年(723)由太史监南宫说在周公测景处置八尺表。《新唐书·地理志》河南府河南郡:“阳城……万岁登封元年(696)将封嵩山,改阳城曰告成,神龙元年复故名,二年复为告成……有测景台,开元十一年诏太史监南宫说刻石表焉。”《新唐书·天文志上》开元十二年:“太史监南宫说择河南平地,以水准绳,树八尺之表而以引度之。”此即唐代著名的由一行记录、南宫说主持的天文大地测量实测工作。南宫说在此前一年于告成置八尺表,可能是作为基准而置。自古称阳城为地中,周公测景之地,南宫说置表之处可能就是周代阳城地中测景之处,是最古天文台的遗址。现南宫说的表,尚无损地保存在今河南省登封县告成镇古观星台址内。

宋都开封(今开封),开封府府治(府驻地)为开封、祥符二县。祥符原名浚仪,于大中祥符三年(1010)改为祥符。宋司天监在浚仪岳台坊,岳台因昔魏王筑此台以祷霍山神,而霍山古为太岳,因名岳台。《宋史·律历志九·皇祐圭表》:“今司天监圭表乃石晋时天文参谋赵延乂所建……皇祐初,诏周琮、于渊、舒易简改制之……又刻二十四气岳台晷景所得尺寸,置于司天监”,即司天监设于岳台。这个岳台,唐时作为天文观测基点,《宋史·天文志上》:“唐贞观(627—649)初,李淳风于浚仪县古岳台测北极出地高度三十四度八分,差阳城四分。”以后南宫说做天文大地测量时,亦取岳台为点,《旧唐书·天文志上》:南宫说测得“汴州浚仪太岳台,北极高三十四度八分,冬至影……”第二个天文台在翰林天文院,称候台,见《宋史·律历志九·皇祐浑仪》:“置浑仪于翰林天文院之候台。”它在禁城内,沈括《梦溪笔谈》卷八说“国朝置天文院于禁中,设漏刻、观天台、铜浑仪,皆如司天监。”第三个是测验浑仪刻验所。第四个称合台。这四个台同时放置大型浑仪等天文仪器,进行天文观测。《宋史·律历志十四》:“绍兴三年(1133)太史局令丁师仁等言,省识东都浑仪四座,在测验浑仪刻验所曰至道仪,在翰林天文局(院)曰皇祐仪,在太史局天文院曰熙宁仪,在合台曰元祐仪……”此外,宫中还在文德殿前安放天文仪器,进行观测,如张思训的浑象“诏置于文德殿东鼓楼下”,皇祐漏刻“置文德殿之东庑”。

南宋,虽在仪象的制作上成就小,但天文台亦设于多处。《宋史·天文志上》:

"至(绍兴)十四年,乃命宰臣秦桧提举铸浑仪……三十二年(1162),始出其二,置太史局。而高宗先自为一仪,置诸宫以测天象,其制差小,而邵谔所铸盖祖是焉,后在钟鼓院者是也",又曰"清台之仪,后其一在秘书省"。

按《宋史·职官志五》,元丰改官制,罢司天监,设太史局隶秘书省。由上可知,南宋的天文仪器至少设有三个观象台,即秘书省的太史局,钟鼓院及宫中。

金在燕京(今北京)设太史局候台。《金史·历志下·浑象》:叙北宋浑仪云"金既取汴,皆辇致于燕……惟铜浑仪置之太史局候台"。贞祐年间,蒙古围燕,金迁都开封,设天文台,但财力不足,浑仪都铸不起,直至金亡。

蒙古于太祖十年(1215)攻破金中都(燕京),其时忙于战争,对于金人所留天文仪器及天文工作等未遑多顾。太宗窝阔台五年(1233)才敕修浑天仪。世祖忽必烈至元三年(1266)"以黄金饰浑天仪",这不过是从礼器角度来对待的。元代天文机构的初设是世祖初年,沿金制设司天台,隶秘书监,至元十一年(1274)与回回司天台合并。回回司天台是至元八年设立的,西域天文学家于至元四年制西域仪象,但"未有官署,至元八年始置(回回)司天台"。司天台仍用金台旧址。《元史·郭守敬传》:至元十三年(1276):"守敬首言,历之本在于测验。而测验之器莫先仪表,今司天浑仪宋皇祐中汴京所造,不与此处天度相符,比量南北二极,约差四度。表石年深,亦复欹侧。"可知在此以前是没有进行过什么像样的天文工作,即使建立天文台也是简陋的。回回司天台设在上都。上都在今内蒙古正蓝旗东,宪宗六年(1256)忽必烈建开平府城,为藩府驻所,中统元年(1260)在此即位,至元元年升为上都,燕京为中都,九年升中都(北京)为大都。至元十六年(1279)于大都城内东南方建立太史院、司天台,将于下节专门介绍。





上都的回回司天台,以西域人札马鲁丁为提点。台内有西域仪象等仪器,并藏有阿拉伯文天文书籍 242 部,其中有著名的公元前 2 世纪的希腊天文学家托勒密的名著《天文学大成》的阿拉伯文译本。

明代定都南京。洪武十八年(1385)"设观象台于鸡鸣山",即今南京市内北极阁。明末意大利传教士利玛窦于 1600 年曾在南京鸡鸣山明观象台中看到陈列的天球仪、浑仪、圭表和简仪等天文仪器。这些仪器为明灭元时从大都取来的。《明实录》太祖朝:"洪武十八年(1385)冬十月丙申日,太白昼见,自癸巳至于是日;筑钦天监观星台于鸡鸣山,因雨花台为回回钦天监之观星台",此时南京在雨花台尚有回回天文台,洪武三十一年罢。明成祖于永乐元年(1403)改北平为北京,永乐四年建宫殿修城垣,十九年完成。天文观测于南京仍设有钦天监,北京在齐化门(今朝阳门)附近的城墙上以肉眼观测。永乐二十二年(1424)在紫禁城内西部设内观象台。直到英宗正统二年(1437),《明史·天文志一·仪象》:"行在钦天监正皇甫仲



和奏言:南京观象台设浑天仪、简仪、圭表以窥七政行度,而北京乃止于齐化门城上观测,未有仪象。乞令本监官往南京,用木做造,挈赴北京,以较验北极出地高下,然后用铜别铸,庶几占测有凭。从之。”次年于北京铸浑天仪,简仪等。正统七年(1442)在今北京市建国门外北京古观象台址上建造钦天监、观象台。基本达到今天布局。仪器有浑仪、浑象、简仪、圭表和漏刻。

清钦天监观象台仍在原处。康熙八至十二年(1669—1673),由比利时传教士、钦天监负责人南怀仁监制六件大型铜铸天文仪器(天体仪、黄道经纬仪、赤道经纬仪、地平经仪、象限仪和纪限仪),并安放在台上,明制仪器则移于台下。康熙五十四年(1715)法国传教士纪理安监制的地平经纬仪亦安置台上。乾隆十九年(1754)前后安置了第八架大型天文仪器——玑衡抚辰仪。

清代除在观象台内进行天文观测外,在畅春园(西直门外海淀)亦曾用40尺高表做过天文观测。

## 第二节　现存的两座古代著名天文台

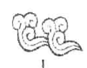
### 一、登封观星台

现在河南省登封县东南告成镇的登封观星台,是我国现存的历史最久的天文台。该地原为阳城县,武周于万岁登封元年(696)封嵩山,改阳城为告成,后改阳邑,五代唐复称阳城。

阳城为古“地中”。《周礼》中即记有以土圭测日景求地中,认为地中的日景,对八尺表而言,夏至为“尺有五寸”,并认为“王畿千里,影移一寸”,即表影在南北相差1 000里处,长度相差1寸。这种说法当然毫无根据。并在唐代南宫说进行的天文大地测量实测中,证明此说舛误。但历代都把阳城作为圭表测影的原始点。如《隋书·天文志上·晷影》:“昔者周公测晷景于阳城,以参考历纪。其于周礼,在大司徒之职:以土圭之法,测土深,正日景,以求地中。”“先儒皆云:夏至立八尺表于阳城,其影与土圭等。”“周髀云:成周土中,夏至景一尺六寸,冬至景一丈三尺五寸。”

北魏郦道元《水经注》载“颍水迳阳城南”,“亦周公以土圭测日景处”。

周公测景,年久代远,虽无具体记载,而历代相传皆在阳城。后代,最早明确周公测量之地的是,唐南宫说于开元十一年(723)在周公测景处置八尺表,此表今尚存。其余朝代,在圭表测景工作中的地中测景,不知具体为何处,也许唐代系因循过去测景之地而立表。至少唐以后的阳城测景,都会在南宫说置表之地。法国天体力学家拉普拉斯在其著作中说:“周公约在纪元前1100年,于洛阳立8尺之表,

测日中之景，得夏至景长1尺半，冬至景长1丈3尺。今以太阳半径、蒙气差、地平视差之改正，测得洛阳北极出地高38°.6513(为每象限100度，度分秒百进制，合34°47′2)，及当时黄赤交角26°.5563(合今23°54′)，与我计算的26°.5161相差极微”①。

这个测景处，由于元代郭守敬以所设计的高表景符安置在此处，并建有观测台等建筑而成为一个完整的天文台，并保留至今。这是郭守敬主持的，在全国布有27个天文点的大规模天文观测工作中的一个点，即《元史·天文志》中记载的河南府(洛阳)阳城。

清景日眕《说嵩》中对阳城的历史沿革有简要叙述：“告成，古阳城治也。《孟子》‘禹避舜之子于阳城’是已。秦置县。西汉、三国、晋因之。西魏明帝孝昌二年，升县为阳城郡，领阳城、颖阳、康城，隋开皇间废；十六年以所废阳城郡为嵩州；仁寿间，复废嵩州为阳城县。唐高祖武德时，置嵩州，领阳城、嵩阳、阳翟、康城；贞观三年，州废；万岁登封六年，更名阳城为告成县，封祀礼成，告成功也。中宗神龙初，复改告成曰阳城，二年复名告成，天祐间更名阳邑。五代以后，废入登封。”说明告成就是古阳城，清的告成镇即古阳城县治(驻地)，也就是现在的登封县告成镇。告成位于现登封县城东南15千米、嵩山与箕山之间。具有十分悠久的历史。现在于告成镇东北，发现了春秋战国时的古阳城城垣遗址。

南宫说的八尺表所植之处，在郭守敬所建的观星台内，表至今完好，可见在郭守敬建台前，此处作为历代圭表测景之处，是给了保护的。惜郭以前的建筑等情况已无法知道了。但按清乾隆《登封县志》卷十九：“《杜氏通典》：仪风四年②(679)五月，命太常博士姚元，于阳城测景台立表”，则在南宫说前44年已立表，可能是姚元立，南宫说题刻。此时已有测景台了。





南宫说的表上刻“周公测景台”五字，依稀可见。历代通称“无影塔”、“没影台”，只有地处24°纬度(黄赤交角)地方，夏至日太阳中天时过天顶，表方无影，阳城纬度为34°24′，夏至日中午不能无影，且古代记载也是记的“夏至影长一尺五寸”。何故？因该表基为一截四角锥体，底面大于端面而致。石表北面刻有楹联“道通天地有形外，德蕴阴阳无形中”，可见古人对天文的敬畏崇拜。

在登封观星台的院墙内，除上述石表外，主建筑即郭守敬的高表石圭。

台身建筑面积约300平方米，呈覆斗状，四面有石级盘旋而上，台面高9.46米，边长8米许，上有小屋两间，连同小屋通高12.62米。台底边长16米许；台北中央为一上下相连，自台面至地平的凹槽。凹槽南面，即台之北壁门顶至底竖交底

① 引自《高平子天文历学论著选》，“圭表测景论”，第211页。

② 仪风四年六月改元调露，五月尚未改元。



面，相应于表身。自槽底部，由南向北为一条由 36 块方石拼接的，全长 31.20 米的石圭。圭的东西两侧各开有一条平行水槽，供定平圭面之用。水槽中间为刻有尺度分划的圭面。圭的南端与竖直凹槽底部并不连接，中间相距 36 厘米。自圭面至台面，高差为 8.90 米。原设计，表上即台面上左右（东西）两侧各有一条龙，捧住一根长 6 尺、径 3 寸的东西方向横梁，自圭面至黄梁中心高 40 元尺，即表高。现在台面上无龙形物，而两小屋的窗沿，距圭面为 9.76 米，合 39.8 元尺。当时可能在小屋处为擎梁的龙，也可能在台面砌女墙以置梁。

台上小屋两间系明嘉靖七年（1528）侯泰修理时所建；《登封县志》及《嵩高志》均载[①]："嘉靖九年，巡按河南何天衢言，登封旧有测景、观星二台，周公遗迹也。土圭表漏俱存，乞敕委官考正制度，刻之史册。从之。"又嘉靖《登封县志》："观星台在测景台北……有磨石三十六块……今已失其一，后又有亭……正德十五年，河南按察使陈凤梧建。"据明万历十年（1582）孙承基撰《重修元圣周公祠记》碑载"砖崇台以观星。台上故有滴漏壶，滴下注水，流以尺天"，可知明代此处是受到关注的；圭面的一块石料，近年来亦在修缮时于围墙内出土，按原式补于圭中。

元代建高表，原为铜制，《元史 · 世祖本纪》："至元十六年春二月癸未太史令王恂等言……宜增铜表高至四十尺……又请上都、洛阳等五处分置仪表……从之。"大都（北京）的 40 尺铜表已无考，而河南登封之高表石圭至今给我们提供了元代天文仪器的实物。

该台现为全国重点文物保护单位。

## 二、北京古观象台

自明正统（1436—1449）年间开始应用，到 20 世纪 20 年代，北京古观象台作为国家天文台连续工作了将近 500 年之久。

北宋靖康元年（1126）金兵攻入开封，将其天文仪器辇运到金的京城中都，置于太史局候台。金中都在今北京城区东南，候台台址已难稽考。元于今北京城区建大都，开始时仍在金中都候台观测。至元十六年（1279），元世祖以王恂为太史令，郭守敬为同知太史院事，于大都城内东北筹建太史院衙及司天台，其址约在明清贡院，今中国社会科学院附近。

明灭元，大都天文仪器全部运往南京，置于鸡鸣山观象台及雨花台回回司天监观象台。

明成祖迁都北京，南京的天文仪器仍继续工作。正统二年行在[②]钦天监正皇

① 《登封县志》卷五；《古今图书集成 · 历象汇编 · 历法典》卷一〇二。

② 当时北京仍称行在。

甫仲和奏，北京至今尚在齐化门城上观测，未有仪象，请求按南京式样铸造仪器。次年铸成浑天仪、简仪。《明实录·英宗》正统七年(1442)"三月壬子，造会同馆(属兵部，掌京师驿传事务)及观星台，同年建钦天监于大明门之东"。按《明史·天文志一·仪象》："正统……十一年(1446)，监臣言：简仪未刻度数，且地基卑下，窥测日星为四面台宇所蔽。圭表置露台，光皆四散，影无定则。壶漏屋低，夜天池促，难以注水调品时刻。请更如法修造。报可。""成化中尚书周洪谟复请造璇玑玉衡，宪宗令自制以进。十四年，监臣请修晷影堂，从之"。又按《古今图书集成·历象汇编·历法典》一百〇二卷："按《明会典》正统十一年奏准简仪修刻黄道等度，圭表壶漏俱如南京旧制，又造晷影堂以便窥测调品"，则晷影堂系正统十一年造，成化十四年(1478)修。至此，具备了大致如今天的规模。

明代在观象台内安置的仪器有浑仪、浑象、简仪、圭表和漏刻。

清代于康熙十二年(1673)安放了比利时传教士、钦天监技术负责人南怀仁监制西洋制式的赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平经仪、地平纬仪、纪限仪和天体仪。康熙五十四年(1715)又安置了德国传教士、钦天监技术负责人纪理安制造的地平经纬仪。乾隆九年(1744)又耗时10年制造安装了中国传统制式的浑仪名叫玑衡抚辰仪(比传统形式减少了黄道和地平两个环规，采用360度和96刻制)。

台上安置新仪器后，元明仪器俱弃置台下。清天文学家梅瑴成在《梅氏丛书辑要·操缦卮言·仪象论》中写道："明于齐化门南，倚城筑观象台。仿元制作浑仪、简仪、天体三仪，置于台上，台下有晷影堂，圭表壶漏，国初因之。康熙八年命造新仪，十一年告成，安置台上，其旧仪移置他室藏之"，"康熙五十四年，西洋人纪理安欲炫其能而灭弃古法，复奏制象限仪(应为地平经纬仪)。遂将台下所遗元明旧器作废铜充用。仅存明仿元制浑仪、简仪、天体三仪而已"。又云"余于康熙五十二、三年间，充蒙养斋汇编官，屡赴观象台测验。见台下所遗旧器甚多，而元制简仪、仰仪诸器，有王恂、郭守敬监造姓名，虽不无残缺，然睹其遗制，想见其创造苦心，不觉肃然起敬也。乾隆年间，监臣受西洋人之愚，屡欲捡括台下余器，尽作废铜送制造局。廷臣好古者，闻而奏请存留。礼部奉敕查捡，始知仅存三仪，殆纪理安之烬余也"，"乾隆九年冬，奉旨移置三仪于紫薇殿前"。以上为北京观象台仪器简况。



光绪二十六年(1900)，八国联军入侵北京，法国取去赤道经纬仪、黄道经纬仪、象限仪和简仪，放置法国使馆，于光绪二十八年归还我国。德国取去纪限仪、地平经仪、天体仪、玑衡抚辰仪和浑仪，陈列于波茨坦离宫。第一次世界大战后，根据凡尔赛和约，于1921年归还我国。1931年，前中央研究院天文研究所将浑仪、简仪、圭表、小地平经纬仪、小天体仪、漏壶两个等运往南京，置于天文研究所的紫金山天文台及南京博物院。其中小地平经纬仪及小天体仪系在仪器被掠后，清钦天监为



进行日常观测工作而制作的。

## 第三节　各地方的天文建筑、仪器

中国古代的天文台绝大多数由国家设立，作为太史局、司天监的观象场所。除史有明载的外，尚有少数无记载，但在地方志中记有它的遗址。另外，古代对于时间工作，有科学的管理制度。京城外，在各省会、府、州、县城的城区多设有报时机构。一般使用晷表校正漏刻，在白天的正午、晚间的更点时，传播时间讯号于全城，由官方管理。多设在城中的钟鼓楼中或谯楼上。

现据各地方志及有关文献中的记载，给出一些省府州县的这些建筑和有关配备的仪器。此处，提的是“建筑”，是不涉及其组织机构，机构则在“中国天文学史大系”的有关卷中介绍。

### 一、曾建天文、观星台处的记载

元在大都城内东南建太史院及观象台，遗迹难考，约在今北京明清贡院（中国社会科学院）附近。

元杨桓《太史院铭》：“至元十六年（1279）春，择美地得都邑东墉下……中起灵台。”

辽、金及元初候台，在北京城南。《日下旧闻》吴师道九月二十三日城外记游作条朱彝尊按：“元之都城在东北白马庙，柴市、琼华岛皆在城南。今之观象台则在南城外。”

明永乐建灵台于宫中，光绪河北《顺天府志》卷十三：“明史，永乐二十二年（1424）十二月，作‘观天台’于禁中……明‘灵台’遗址在织女桥南，今尚存，俗称观星台”。清《国朝宫史》载护城河“复东经太庙左垣，西由织女桥前绕社稷坛端门太庙，会东来之水……”可知织女桥位置，在西华门外，南长街。

元在南京曾建观象台。光绪《重刊江宁府志》卷八：“观象台，元至正元年（1341）建，明改为钦天台”，即鸡鸣山观象台。

明在南京曾建钦天监及回回钦天监两个台，分别位于鸡鸣山及雨花台。光绪《续纂江宁府志》卷八：“西钦天山，明观象台在其上”，《明实录》卷一百七十六：“洪武十八年冬……筑钦天监观星台于鸡鸣山，因雨花台为回回司天监之观星台。”

在南京还有刘宋（420—479）建天文台的记载。康熙《江南通志》卷三十五：“日观台，在府，即刘宋司天台，在台城内。”

越曾在浙江绍兴建灵台，康熙《绍兴府志》卷四：“龟山……越起灵台于山上。”




浙江杭州吴山元曾建天文台，雍正《浙江通志·钱塘县志》："浑仪台在吴山……元丞相逵识贴睦尔重建，有测验浑仪所"，云重建，南宋天文台当设于此。乾隆《杭州府志》卷二十三："浑仪台，吴山太史局测验浑仪所，台上有浑仪，下有土圭……堂有刻漏，惟土圭以石为之，余皆铜"(据《咸淳志》)。

安徽凤阳独山明初曾建天文台，明天启《凤阳新书》卷三："在独山上，洪武初设钦天监观象台。"独山在凤阳县东，旧有观星台即指此。

安徽凤台县有春秋蔡成公占星台，乾隆《凤台县志》："下蔡(汉置下蔡县，即凤台县)东北，相传前朝占星处"，即下蔡东之奎星台。

河南省，除登封观星台外，战国魏在开封城南、唐在洛阳建有天文台。万历《开封府志》："灵台，在府城南二十里，战国魏侯莹所建，俗名梁惠王台。"顺治《河南府志》："东都城有阊阖阙在映日堂东隔城上，阙北及南皆有观象台，唐所置也。"

此外，河南在虞城、归德、郑州、商丘等地均有古代筑天文台的记载。

周文王所筑灵台，据《三辅黄图》、《长安志》、《陕西志辑要》等记载，在长安西北40里，户县西南，民国陕西《续修陕省通志》："周灵台在县西南四十里，旧灵囿中，明秦王改为佛寺，乾隆九年陕西巡抚毕沅相度，加修葺焉"。

《类编长安志》卷三："《地理志》云，在长安外部城内东南八里永宁坊，乾元元年(758)改太史监为司天台，浑仪台，高有二十尺。"

据嘉庆《成都县志》："观星台在府署内(成都府)，相传汉丞相诸葛亮与昭烈帝观星于此。"

贵阳城内，据《贵州通志》载，亦有诸葛亮观星台。

由此可见在帝王建都之处，多建有天文台，至今遗迹虽不可寻，但方志作为不可或缺之项目予以记载。



此外尚有不少天文学家、学者的观星之处甚多，不予备载。

## 二、安置漏刻的场所

报时工作的场所，自宋以来，尤其燕肃莲花漏的推广后，大凡富庶地区的县城以上的城市多有之。兹择其完善的及有代表性的予以介绍。资料除载在地方志外，名人学者撰写的漏刻铭中有不少也谈到安放地点，私人记载笔记中也有叙述。

在北京的，为齐政楼的漏刻。清周家楣等修《顺天府志》：

> 钟鼓楼元时即有之。钟楼，至元中建……鼓楼，旧名齐政楼，此楼正居都城之中……齐政者，书璇玑玉衡以齐七政之义。上置铜刻漏，制极精妙，故老相传，以为宋时故物。其制为铜壶四，上曰天水，次曰平水，又次曰万水，下曰收水。中安铙神，设械，时至则每刻击铙者八……冬则用温



水云。

鼓楼在地安门外，址高一丈二尺，广十六丈七尺有奇，纵减三之一，建楼五间，绕以圆廊，周建砖垣；钟楼在鼓楼北，制相埒，明永乐十八年(1420)建，清乾隆重建。在20世纪20年代初，钟存，鼓及漏刻俱失。齐政楼中置之铜漏刻能自动于每刻击铙，是漏水带动的机械时钟。

江苏苏州府在谯楼(又称鼓角楼)上置漏刻，夜间有一套报时制度。光绪《苏州府志》：

> 绍兴十九年(1149)王晌始作刻漏。按卢熊《志》，更鼓之节，凡日之晡则吹角一叠，挝鼓十数声，谓之小引。申时换牌……黄昏吹角，五人为三叠，鼓者六人，每角止挝鼓数十，为三遍，遍三敲六擂，凡三角，三鼓而上，四更则奏角而不鼓，亦谓小引。三点乃再发，至五更止。

这样多人进行操作，必有专门机构或官员管理。

江西袁州府(府治今宜春县)有谯楼，乾隆《袁州府志》："谯楼在府治东，宋嘉定间郡守滕强恕建，筑台有楼五间，原置铜壶一座……影表、定南针、添水桶、更筹、漏箭、铁板、鼓角，设阴阳生轮值候筹报时……为一郡大观。"这条记载中提到有影表、定南针，这是中午用表影校正漏刻所用，其他地方谯楼上亦应有这类设备，否则无法保证漏刻长期正确运行，唯不见记载。另外，提到由阴阳生轮班管理。阴阳生，明初仿儒学及僧、道官例，在府州县设阴阳学官，设官不给禄，凡天文占候及星卜之流，悉归管理，清因之俗称阴阳生。这是官方管理的具体记载。这类记载还有《金谿县志》载："谯楼，洪武二十四年始置铜壶滴漏……阴阳训术程士贤提调而成。"[①]按明清阴阳学官，府称正术，州称典术，县称训术，更可证在府州县地方，报时刻更鼓是由阴阳学官负责的。福建《龙溪县志》中的记载，这一工作在府是由知府下达安排的，"郡守钱古训置铜壶漏箭于阴阳学，以正时刻，谯楼更鼓，视以为节"。其他类似记载甚多，不赘。





光绪湖北《兴国州志》[②]中记载的《兴国军重修刻漏碑记》中，对于地方建立报时刻制度的意义有一番说明"凡郡必有城，城有楼，其名曰谯楼。上设鼓、角与漏三物，所以壮军容，定昏晓。兴居有节，不失其时，其为制旧矣。予始至郡，每日影下梁窗闻鼓声纮纮然，鸣于阛闠之间。日明天旦，晨鸡三号，则鼓又鸣，率以此而候夜旦。然夜漏不设，常使守者占天星以候百刻，风雨晦冥，则笳鼓失节，往往夜半奏角，黎明而受初更者，犹弗易也"。这里反映一个事实，即连日阴雨，长期无法校准

---

① 金谿，明属抚州府，今为金溪县，江西省东南部。

② 兴国州，宋置兴国军，治永兴县，无为路，明改为州，清属武昌府，现为阳新县。在武汉市东南约7千米处。

漏刻时，引起笳鼓失节。

即在边远地方的城市，亦设鼓楼，以报时刻。嘉庆《伊犁总统事略》卷五："惠远城，乾隆二十九年(1764)，在伊犁河北岸创立……中建鼓楼一座"。按：清乾隆帝平准噶尔，置将军于伊犁。伊犁府治为绥定县，城名惠远，为西陲重镇。绥定县1965年改为水定县，1966年并人霍城县。清惠远城在今霍城县治西南。

在地方重视鼓楼、谯楼的报时工作，除了实际需要外，中央政府亦有明确指令和要求。如民国《巴县志》卷三，《漏壶台》记"明洪武十四年(1381)颁漏壶式于天下"，云、贵、川一些地方志中多有明初建鼓楼的记载，可见当时有此通令。而在沿海发达地区，则早在宋、元就都建有鼓楼漏刻了。

这种全国城市都有的鼓楼报时制，反映了中国古代对统一时刻，便利官署办公、人民生活的有节奏规律，是十分重视的。也使得漏刻这一天文仪器，广泛地散布于全国各处。

以上为地方志的记载，是从安置漏刻等的场所而叙的。

此外，从制漏刻的叙述，亦可见各地方的漏刻制造、使用情况。

北宋庆历五年(1046)，知扬州军事韩琦作《扬州莲花漏刻铭》，宋王安石于明州(今浙江宁波)作《明州新刻漏铭》，南宋许克昌作《明州新造莲花刻漏记》。宋燕肃所到之处皆制漏刻，如四川《三台县志・碑目考》载："天圣中，燕公肃守梓州日置，自为之记。"宋梓州路治即今三台县。还有夏竦的《颍州莲漏铭》，苏轼《徐州莲花漏铭》等。这些名人、官员为之撰铭，可见这些地方安置的漏刻的知名度。宋、元、明、清此类铭记碑刻甚多，不备叙。

值得介绍的是现藏北京中国历史博物院的元延祐漏刻。此漏刻为元仁宗延祐三年(1317)造。乾隆《番禺县志》："今番禺拱北楼有古刻漏存焉。则元仁宗延祐元年宣慰司陈用和制也……大者高六尺余，三者递减一尺……"番禺、南海两县为广州府治。宣慰使司，元置于各道，领路、府、州、县，行省有政令则布于下，郡县有请则转达于省，类明、清之道，长官为宣慰使。在第一壶之旁刻有款识，列有广东道宣慰使都元帅马速忽等职名10余人的名衔，末列广东道宣慰使司都元帅府阴阳提领简德辅监铸、南海县该吏陈用和，作头杜子盛，作头冼运行。延祐三年十二月十六日造。则知陈用和为具体的监铸吏员。这套漏刻由四把壶组成，桶形，第一壶上口围9.66尺，径2.6尺，底围7.8尺，高3.3尺。第二壶上口围7.59尺，径2.2尺，底围6.85尺，高2.55尺。第三壶上口围6.3尺，径1.91尺，底围4.82尺，高2.45尺。第四壶上口围4.45尺，径1.38尺，底围同高3.6尺。据《番禺县志》记："咸丰丁巳(1857)，拱北楼灾。此壶为人携去移置它所，庚申(1860)劳文毅公崇光，悬赏购得之，月壶略有损坏，其盖与日、星两壶盖均补铸，勒名于末，置抚署退思轩。同



治甲子(1864),重建楼成,后置原处。”这具漏刻是中国古代传世最久的一具。浙江《上虞县志》载有元至正二十五年(1365)漏刻,浙江“石碑”记有各壶尺寸,上口径为8尺,底径为6.6尺,高1.6尺。同治江西《赣州府志》:“宁都(今宁都县)旧设有四壶……在谯楼西间有日晷台,在谯楼门外,肇自至正四年(1344)建也。”元代在各地是制了不少漏刻及建有相应的安放场所的。

## 三、袁州谯楼

袁州即今江西省宜春市。隋、唐为宜春郡,后改为饶州,宋为袁州宜春郡,元为袁州路,明、清为袁州府。故治今宜春市。

袁州谯楼,在今宜春市鼓楼路,今称宜春鼓楼。据明、清、民国的府、县志都有古袁州谯楼[①]的记载。

自宋燕肃莲花漏在全国普及后,随着经济、文化、政治发展的需要,在全国各地的府治几乎都设谯楼,以为府城报送一天中的时刻、更点。这从历代府志中均可见到。如康熙江苏《淮安府志》鼓楼“一座三间,在城中央都府前四十步,台高二丈五尺,上建高楼峻极巍耸,控峙城中。永乐十七年,景泰四年俱修旧,贮铜壶刻漏,更筹十二、二十四气牌,故阴阳生居之阴阳学寓所原匾曰谯楼”。谯楼原意为门上高楼,可以望远和了望,后称鼓楼为谯楼。《明会典·钦天监》:“凡定时刻有漏,换时有牌,报更有鼓,警晨昏有钟鼓。其器皆置于谯楼。”

谯楼上置有漏刻、钟鼓,多有记载。另外必有的日晷在府志中记载不多。

漏刻仪是一种计时仪器或称守时仪器,它不可能一直准确无误不停地运行下去,必须经常甚至每天(如果天晴)与日晷校对,或以圭表浑仪的观测结果校对。现录一段宋许克昌撰《明州新造莲花漏记》以说明:“……分昼夜百刻为二十有一箭……其度则考以日中之景也。又惟古之为漏者,必有表,穰苴与庄贾期,设表下漏即其事也。盖水增减不常而司之者勤怠不可保,始或稍差,末必大谬。则又为测景盘、浮针以定南北之极,半规以正东西之景,使漏失而求之景,则虽千古之日可坐致也。[②]”可见谯楼除漏刻外尚有日晷、测影盘、指南针等。志书中所以多记漏刻,少记日晷的一个原因是前者以铜制,较为精密,制一漏刻所耗人力、物力及技术均不易,而日晷一般以石凿成,要简便得多。另外,日晷在使用上可能普及程度更高,如《明会典·兵部记·急递铺》:“每铺设十二时日晷一个,以验时刻。”可以认为谯楼报时工作中,其设备必有日晷、漏刻、更鼓等,缺一不可。袁州谯楼不是唯一进行





---

① 栾杏丽,等:《袁州谯楼》,见中国计时仪器史学会:《计时仪器史论丛》第一辑,1994年。

② (宋)孙逢古:《铜壶漏箭制度》,清道光三年黄氏士礼居抄本,北京图书馆1976年11月提供的显微胶片。

测、报时的天文台。

据明正德《袁州府志》:"谯楼。府治东。宋嘉定间(1208—1224)郡守滕强恕建。筑台为楼五间。原置铜壶一座,并夜天池、日天池、平壶、万分壶、水海;影表、定南针、添水桶、更筹、漏箭、铁板、鼓角。设阴阳生轮值,候筹报时。"各种设备记录得比较详细。

谯楼在宋代似未安排专业人员,而由军卒管理。那篇《明州新造莲华漏刻》中这样记道:"(州)治,谯门,旧有水称,则昼夜漏之。长岁久刻,弊不可取信。而司钟鼓者皆慵老无知之卒,增减水不以时,人无测量器,率以意斟酌,不与天相应。关垣启闭,唱筹鼓鼛,皆不合节。"也许时辰的测报与军事关系比较密切。

元世祖至元二十八年(1291),置诸路阴阳学,训练掌握天文、历法的阴阳人,设教授(未入流小官)训练,优秀者可由司天台录用。延祐(1314—1320)初,仿儒学、医学例,在路、府、州设阴阳教授一名,管辖阴阳人,而统属于太史院。明洪武十七年(1384)在府设阴阳学府正术一名(从九品)、州设典术、县设训术各一人,均为未入流。清用明制,但府、州、县的正术、典术、训术俱为未入流。以上各职俗称阴阳生。

上述淮安府、袁州府管理谯楼的阴阳生,应是元以后的安排。

袁州谯楼遗迹,据栾杏丽女士等的报告:楼台占地面积约 780 平方米,台高 5.5 米。台上建二层高楼,楼宽 23.3 米,长 11.8 米,高 12.8 米。楼的屋脊南北向,为抬梁式木构架。在主台的东北和东南两角,又各伸出一平台。现北角小台已拆毁。南角小台基本完好,只是上面现加盖一小屋。此小台长 19 米,宽 7.4 米。东面突出主台 9 米余。观此介绍,可知其概况。



袁州谯楼可能是保留下来的最古的一个府治谯楼,我们能由此了解到地方时政工作的规模和概况。





# 第十六章 其他天文仪器

## 第一节 航海天文仪器

按现代天文学分类，航海天文学为实用天文学的一个分支，而实用天文学则属天体测量学范畴。以天体为参考目标，观测天体以确定船舶的地理坐标的学科称航海天文学，其技术称航海天文术，所使用的观测及辅助仪器为航海天文仪器。

中国古代天文学主要由官方直接控制，而航海天文则由于实用性明确，民间应用广，基本是在民间发展起来的。2000 多年来，由于中外交通(往来)的发展，推动了海上交通，从而促进了航海天文的发展。

### 一、中国古代航海天文的起源与发展

《易·系辞》:"伏羲氏刳木为舟、剡木为楫。"《淮南子·齐俗训》:"夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极则悟矣。"说明早已有舟，有航海活动及以星斗辨力向。《汉书·艺文志》中就载有当时有关航海的著作，《海中五星经杂事》等六种一百三十六卷。汉时已远航至印度、斯里兰卡，晋时往返南洋、印度频繁；唐代更有发展，宋代已将指南针用于航海导向。宋朱彧《萍州可谈》:"舟师识地理，夜则视星，昼则观日，阴晦观指南针。"明郑和七下西洋，更是航海高峰。





古代近海航行，大约主要靠指南针及近海岛屿等导航，远航则必须靠天文导航。天文导航中观测北极星出地高度定纬度是基本内容，粗略的观测用肉眼估测；确定航向则以日、月出没和北极星的方位为根据；确定航程则以航速与计算器来计量。确定北极星出地高度，从目估到定量测定，必须建立适合海上工作状况下适用的观测方法及专用仪器。牵星术及牵星板的出现，就是这一发展的结果。

### 二、牵星术与牵星板

牵星术是观测天体的地平纬度(高度)以确定船舶的纬度(南北位置)的一种技术方法。

文献中最早出现有关牵星术的是《郑和航海图》，实际出现及应用的时间，当早于明代。中国古代对于地理上的南北位置的概念，早已建立。以圭表测量，测地中

就有此概念。唐代南宫说于开元年间进行的大地测量已得出北极出地高度的变化与南北里程的关系。因而可能最早在公元8世纪,即将此原理用于海上船舶定位。有关应用牵星术测定天体高度,所使用的工具牵星板的记载,以明李诩的《戒庵老人漫笔》为详。该书于万历二十年(1592)刊出。“苏州马怀德牵星板一副,十二片,乌木为之,自小渐大,大者长七寸余,标为一指、二指以至十二指,具有细刻,若分寸然。又有象牙一块,长二寸,四角皆缺,上有半指、半角、一角、三角等字,颠倒相向,盖周髀标尺也”。

牵星术的原理是观测者手持牵星板,手臂前伸,牵星板须处于与海平面正交位置。牵星板下有一根固定长度的细绳,以保持人眼至板的水平距离。观测时,使板之下边缘与海天连线(即地平)相合,使上边缘与所测天体相切,则人眼对此板的张角,即天体的地平高度角。如观测时板之上边缘不能被天体方向相切(或挡住或有空隙),则调换另一块板,直到相切为止。一副板有12片,每片板代表天体的一个仰角。其角度自1指到12指。四周缺角的象牙,可以读出半指,半角,1角,3角;大约每个缺角到下边缘的距离不等。1指等于4角。指为古代角度测量单位,马王堆汉墓出土帛书《五星占》、唐天文学家李淳风《乙巳占》、瞿昙悉达《开元占经》中均有以“指”为量角单位的记载。该两书引用战国资料,因而指的出现当至少早于唐代,约等于1.9度[①]。指的起源,为手臂向前直伸后,竖起拇指时指宽在人眼的张角。这种办法在现今勘测的目测估计法中仍在应用(参见图16—1、图16—2)。

1973年在福建泉州出土一艘宋代海船残骸,其中有一把竹尺“竹尺残长20.7厘米,宽2.3厘米,尺内的一半分5格,每格长2.6厘米,尺的复原长度为26厘米”。可能无刻度一半供手握持,而该尺出土于船的舵尾舱,估计为舵工用于观测天体的牵星尺[②]。古代,观测北极出地高度亦有用尺量的。





古代阿拉伯人在航海中亦用类似仪器定位。用9块板,第1块边长约为1小指长,将1小指分为4份,每份为1指,即第1块为4指,第9块为12指。用时左手执板,右手执线。还有一种是调节线的长度(将线打结),而使用固定的板。其基本原理(板及方法)与中国的相同。

古代航海用的针路(天文导航路线)给出航行到某处时,天体在牵星板上的指数(高度)。例如,明《顺风相送》中自古里至忽鲁谟斯针路:开船,看北辰星4指,灯笼星正12指半;……丁得巴昔,看北辰星7指,灯笼星7指半;……美之那山,看北辰星4指半等。

---

① 李启斌,等:《牵星术》,《华南师大学报》,1978年,第1期。

② 李竞,等:《我国民间传统的航海天文》,《华南师大学报》,1982年,第1期。



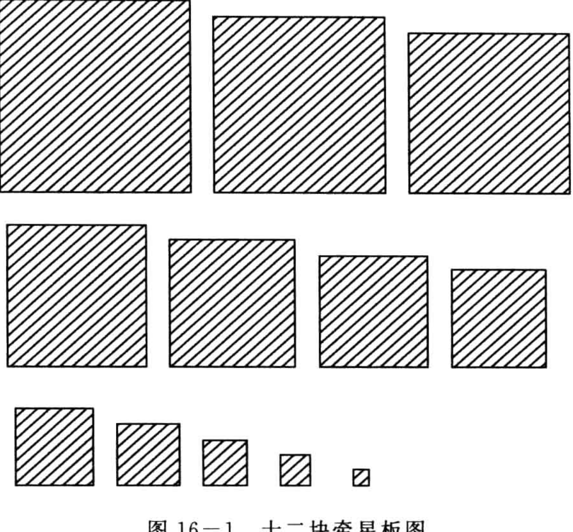


图 16－1　十二块牵星板图

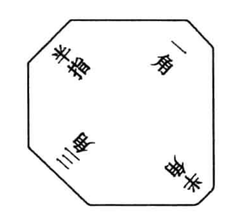



图 16－2　小方象牙块

## 三、航海用天文计时仪器





时计是航海中计算船行距离的必要设备。以单位时间——更[①]的数目，计算顺风航行的里数。计时设备，古代资料中无具体记载。窝雷斯《马来群岛游记》中有爪哇商船使用类似中国古代盂漏那样的开小孔的椰子壳，观其沉入水桶中的时间来计时的记载。一般来说，它的计时精度不必如精确的漏刻那么高，因为船行速度也并非那么准确。计时仪器要适用于海中摇摆不定的条件。盂漏、称水漏刻及刻烛、更香、香篆、盘香、长明灯等都可用来计时。明代谢杰《虔台倭纂》：海船"针舱内，燃长明灯，不分昼夜，夜五更，昼五更，故船行十二时辰为十更"，"盖漳人针法"。

① 更的单位与古代夜间计时制中，将日入到日出时间分为 5 个更的情况有所不同。(唐)僧义净《南海寄归内法传》："夜有四时，与昼相似，总论一日一夜，成八时也。"(元)周达观《真腊风土记》："一夜只分四更。"

其他有关航海定法用的罗盘、指南针等不属天文仪器，不述。

用沙漏来计时，以计船速，在航海中亦有应用。乾隆《台湾县志》卷二载：

> 海洋行舟，以磁为漏筒，如酒壶状，中实细沙悬之。沙以筒眼渗出，复以一筒承之。上筒沙尽，下筒沙满更换，是为一更。每一日夜共十更。每更船行可四十余里。而风潮有顺逆，驾驶有迟速。以一人取木片于船首投海中，即以船首迟行至船尾，木片与人行齐至为准。或人行先木片至，则为不上更；或木片先至，人行后至，则为过更。计所表之尺寸酌更数之多寡，便知所行远近。

李元春《台湾志略》亦有同样记载。有了时计，用来计量时间（经历的时间间隔），以及根据木片相对于船上人从船艄走到船艉的位置，与每更船行40余里这一标准比较，就能得到一更中船行的距离。以罗针确定船的航向后就可知道船位了。

## 第二节　其他型式的漏刻

应用水从容器中流出的量，来计时的设备称漏刻。由于水的黏滞系数受温度变化影响，且严寒时水冻为冰不能应用，以水银代替水的类似计时设备亦称漏刻。广义来说，沙漏，水银漏；秤漏，马上漏刻；碑漏，辊弹漏刻，星丸漏；乃至火钟——香篆、盘香、刻烛、长明灯等均属漏刻一类。而盂漏等应用水漏入容器底端小孔而使其沉没以计时的工具，亦为漏刻的一种。它们在古代计时工作中，都曾发挥过应有的作用。本节各做简单介绍。



### 一、盂漏



它的前身是莲花漏，晋僧人惠远发明的一种简易水漏。唐李肇《国史补》中卷："越僧灵澈，得莲花漏于庐山，传江西观察使韦丹。初，惠远以山中不知更漏，乃取铜叶制器状如莲花，置盆水之上，底孔漏水，半之则沉，每昼夜十二沉，为行道之节。虽冬夏短长，云明月黑，亦无差也。"这种莲花漏与燕肃的莲花漏完全不同。这种莲花漏只能计量每一沉没的时间一个时辰，在一个时辰中再细小的时间如何计量，就困难了。而且每一时辰，要从水中取出，重新下沉一次，管理也不方便。这只是一种粗略的计时器。

在此基础上发展的盂漏，比之要精确、方便。元陶宗仪辑明陶珽重校本《说郛》一百〇九辑宋阙名《漏刻经》："其法以铜盂二只，大一小一……如无，以磁盂代之。小者高三寸四分，面底并阔四寸七分，上下四直……于盂底微錾一窍，如针眼大，浮于水盆上，令水颠倒，自穴外逆通上入于盂，中用筹采之"，"凡筹三十四，分均布十



二段，每段该二分五厘”。

这是一个底开小孔的圆柱体小盂，每昼或夜沉没一次，由于不同季节昼、夜长度不等，用铜钱事先压在盂内，以调节沉没时间。这种盂漏可以读出一个时辰的若干分之一。由于不同季节盂漏在昼或夜中沉没时间有长短，如用压铜钱调节下沉速度的办法，那么每根筹中代表1个时辰的分划长度应不同，不能每段都是2分5厘。如果不压钱，让它在不同季节中沉没速度相等，则可用每根筹分划都相同的办法，而在筹上标明昼刻及夜刻即可。

盂漏在宋代应用比较广泛。

## 二、田漏

这是农家及一般民用的简易漏刻，宋代使用较普遍。元王祯《王祯农书》:“置箭壶内，刻以为节，既壶下注即水起箭浮，时刻渐露。”可见它是一种单级（两壶）受水型浮箭漏。宋王安石《王文公全集》卷四十，咏田漏诗：“占星昏晓中，寒暑已不疑；田家已置漏，寸晷亦欲知。”宋苏轼《苏东坡全集》卷三十二，《眉州远景楼记》：“四月初吉，谷稚而草壮。耘者毕出，数十百人为曹，立表下漏，鸣鼓以致众”，“七月既望，谷艾而草衰，则仆鼓决漏。”文学作品中多处可见，当其时使用比较普及。它要由晷表或圭表来校正的。

20世纪初，钟表在农家尚不普及，农民耕作多亦仍以日影为作息。上述记载恐系农村豪富于耕种季节，督促佣工之用。

## 三、沙漏

将加工过的细沙，由一容器通过细颈，流入下一容器，用以计时的工具。复杂的沙漏，还能带动一套机械装置，以某种方式显示时间。《明史·天文志一》仪象：“明年（崇祯三年，1630），（李）天经又请造沙漏，明初，詹希元以水漏至严寒水冻辄不能行，故以沙代水。然沙行太疾，未协天运，乃以斗轮之外复加四轮，轮皆三十六齿。厥后周述学病其窍太小，而沙易堙，乃更制为六轮，其五轮悉三十齿，而微裕其窍，运行始与晷协。天经所请，殆其遗意欤。”




以沙漏作为天文观测时的计时仪器，天文律历志中这为唯一记载。

明宋濂《宋学士全集》载有《五轮沙漏铭》，其序文：

> 沙漏之制，贮细沙于池而注于斗，凡运五轮焉。其初轮轴长二尺有三寸，围寸有五分，衡奠之。轴端有轮，轮围尺有二寸八分，上环十六斗，斗广八分，深如之。轴杪傅六齿，沙倾斗运。其齿钩二轮旋之。二轮之轴长尺，围如初从奠之。轮之围尺有五寸，轮齿三十六。钩三轮旋之。三轮之

围轴若此与二轮同，其如初轴。杪亦傅六齿，钩四轮旋之。四轮如三轮，唯蓂与二轮同。轮杪亦傅六齿。钩中轮旋之。中轮如四轮。余轮侧旋，中轮独平旋。轴崇尺有六寸，其杪不设齿，挺然上出，贯于测景盘。盘列十二时，分列盈百。刻木为日形，承以云丽于轴中。五轮犬牙相入，次第运益迟。中轮日行盘一周，云脚至处，则知为何时何刻也。……旁刻黄衣童子二，一击鼓，一鸣钲。

对其机械结构述之甚详。4 对齿轮，每对齿速比为 6，全轮系的速比为 $6^4$ = 1 296。周述学改动速比，速比为 5，由 4 对改为 5 对，$5^5$ = 3 125。所以沙孔可大些，使沙不易堙塞。这一沙漏，其齿轮系已与西洋钟表的相似，还具时刻盘和针，已是近代时钟样式，只是动力用沙。

这一沙漏的后来使用，不得而知。其时西洋钟表已传入中国，用沙为动力究竟不方便，看来是被西洋钟表所代替。詹希元之用沙为动力，是袭用中国古代漏水下漏带动机构的传统。

## 四、辊弹漏刻、星丸漏、碑漏

这些都是以珠、球作为漏下物用来计时的设备。宋王应麟《小学绀珠》初编一册一卷：“晷漏四法：铜壶、香篆、圭表、辊弹。”把四种计时设备，漏刻、火钟、以天文测定日影所用的圭表及辊弹并列，可见当时辊弹漏刻，应该并非罕见之物。唯不见记载其结构之史料。现代学者严敦杰于南宋薛季宣《浪语集》中发现其记载。该漏为唐代僧人文诰发明，用于军旅。其构造为一高、广各 2 尺的屏风形物，以一 7 尺 5 寸之竹管分截 4 段，成“之”字形，相接通置于其背面。竹管顶饰以铜制莲花并作漏斗用，以一半两重铜弹，投入管顶莲花中，弹循管下滚落入管底一铜荷花盘中，发出声响，一弹落盘再投另一弹，10 弹投完翻转屏风面上悬之牌一块，共 20 牌，翻完后以笔记数。每昼夜翻牌 60 次。即每昼夜需翻牌 1 200 块，投弹 12 000 次，则每弹自顶下落至荷盘中历时平均 7.2 秒。此漏需专人操作，且其累积误差在一天中较大。使用时阅牌，可得 1 分钟量级的时刻读数。

金天文学家张行简于章宗明昌年间(1190—1195)曾制作星丸漏。《金史·历志下》浑象：“初，张行简为礼部尚书提点司天监时，尝制莲花、星丸二漏以进，章宗命置莲花漏于禁中，星丸漏遇车驾巡幸则用之。贞祐南渡，二漏皆迁于汴，汴亡废毁，无所稽其制矣。”《金史》在元顺帝至正四年(1344)修成，为元修三史中较谨严者。星丸漏之制，至其时已无可稽，可见此漏已甚罕见。它可能是类似辊弹漏刻的计时器，行用于南宋时。

《元史·齐履谦传》中记叙了元天文学家齐履谦的一则涉及碑漏的事：“都城刻



漏，旧以木为之，其形如碑，故名碑漏。内设曲筒，铸铜为丸，自碑首转行面下，鸣铙以为节。其漏经久废环，晨昏失度。大德元年(1297)中书俾履谦视之，因见刻漏旁有宋旧铜壶四，于是……命工改作。"这碑漏的构造及结构原理，同于辊弹漏刻，元初大都(北京)的这个碑漏，可能是金人遗物，是金人于贞祐南渡时迁于开封的那种星丸漏。

## 五、火钟

燃点香烛或油灯，据其燃烧长度或所耗燃油量用来计时的各种燃料、器具统称火钟。除广泛用于民用外，亦用于航海时测定船舶行程。宋王应麟《小学绀珠》："晷漏四法：铜壶、香篆、圭表、辊弹。"香篆即火钟之一种，被列入四种计时内容之一。现简介于下，以见古代计时工作之一斑。

宋洪刍《香谱》香之事香篆："镂木以为之，以范香尘。为篆文然，于饮席或佛像前，往往有至二三尺径者。"这是以硬木或金属镂刻成阴模成篆字。以香料填塞，然后燃点。范模可多次反复使用。李约瑟在《中国科学技术史》第 4 卷第 20 章《天文学》中，引用 17 世纪耶稣会传教士对于香篆的描述："其上常附标记五，以辨五更。以此计时至为可靠，吾人从未见其有很大差误。"并说可作为闹钟，"可在盘香适当位置上悬以小重物，燃至此处时，重物即落铜盆中，铿然作响，以醒睡者。"《香谱》还记载有百刻香"近世尚奇者，作香篆，其文准十二辰，分一百刻，凡然一昼夜也"。这实是香篆的进一步的使用。清黄叔璥《台海使槎录》卷一："大洋中以针盘定向，以更香计时。"清胡凤丹校《航海图说》："查大洋浩瀚，本无涯岸，虽舟人定之以更香……"可见航海中以更香计时，用以计程，用得比较普遍。宋陈元靓《岁时广记》中载有"刻烛验更"，以烛计时，也是一种火钟计时方法，但燃烛不如燃香燃烧稳定，如烛蕊的长短均与燃烧速度有关，不易时时保持其等长。




用长明灯(长点不熄的油灯)计时也是一种办法，元《山居新话》中有一段记载："范舜臣，汴人……尝与余言影堂长明灯。每灯一盏，岁用油二十七个；此至元间官定料例。油一筒该十三斤，总计三百五十一斤。连年著意考之，乃有余五十二斤；则日晷之差短明矣。"他根据连年不断燃点的长明灯到每年年终，燃剩 52 斤油，认为年长变短了。文中的"日晷"可解释为日影或泛指时间。每年多出 52 斤油，几近全量的 1/7，用来解释年长的变化实在已大大超出应具有的知识范围。如果说连年都多出 52 斤油也只能说明对这长明灯日常管理得不错以及官定的标准高了些，也许是宽给作为备用的。但在航海中却有用长明灯计时的记载。明谢杰《虔台倭纂》中有"针舱内，燃长明灯，不分昼夜，夜五更，昼五更，故船行十二时辰为十更"，"盖漳人针法"。可保持长期燃点的长明灯，是否作为航海中测定经度差之用，待航海史界探讨。

一般来说，火钟只能用于低精度的计时。

## 第三节　西域仪象

元世祖至元四年(1267)，西域天文学家札马鲁丁造西域仪象7件。据内蒙抄本元《秘书监志》卷一："至元十年(1273)闰六月，札马鲁丁以司天台提点充秘书监。"据《元史·百官志·百官六》"世祖在潜邸时，有旨征回回为星学者札马鲁丁等以其艺进，未有官署，至元八年始置司天台"。回回司天台属秘书监，札马鲁丁任台长并兼秘书监长官。

下面分述札马鲁丁的七件西域仪象。

### 一、咱秃哈剌吉(汉译混天仪)

按《元志·天文志一·西域仪象》叙述：铜制，有一个地平单环，一个子午双环，为最外层，单环上刻周天度，十二辰位。第二层有一相当于四游双环的赤径双环，上刻周天度，可绕极轴旋转。第三、第四两个环，与第二环(即四游双环)连接；这两个环是黄经、黄纬圈，互相连接，黄经圈可以随四游双环距赤极24度转动。这是一具黄道浑仪。仪器不用望筒一类的管、条状瞄准器。"凡可运三环，各对缀铜方钉，皆有窍以代衡箫之仰窥焉"，在可旋转的三个环规上，都设有如后来清制仪器上光耳、游表那样的瞄准器(有孔的铜方钉)。

### 二、咱秃朔八台(汉译测验周天星曜之器)





仪器四周围以圆墙，东有门，内设小台。在一根7尺5寸的铜表上，端点设一水平短横轴挂一长5尺5寸的铜尺，铜尺上背一窥箫(两者平行、等长)，铜尺下端由轴连一横尺。铜尺窥箫连同横尺，可绕铜表顶端左右转动。横尺能与铜表保持直角可以上下推动。此仪用来测定天体的天顶距。观测时，平转窥箫，瞄准天体，使横尺上下移动，此时横尺一端与铜尺下端接触，另一端与铜表正交，从横尺上可读出铜尺至铜表的垂直距离。从直角三角形的斜边(铜尺长度5.5尺)及一直角边(横尺读数)，可求得天体的天顶距。这是不用角度刻度，应用边长解算三角形求得角度的办法。古希腊及后来清代一些小型测量仪器中均用此法。

### 三、苦来亦撒麻(汉译浑天图)

是一个铜球。置于框架内，框架由一地平单环上刻周天度数，十二辰位代表地，一子午单环，南北极上以铜钉表示，一为卯酉环，此两环皆刻周天度数。铜球上



刻黄道及二十八宿。这是一具天球仪。

## 四、苦来亦阿儿子(汉译地理志)

为一木制地球仪。上以绿色代表水域,占 7/10;白色代表土地,占 3/10。还绘有江河湖海,绘有经纬线格网用来计算面积及距离。13 世纪初。就已能知道海陆成 7 比 3 的比例的这个地球仪,在我国古代是很有意义的,惜无更多资料可资研究。

## 五、兀速都儿剌不(汉译定昼夜时刻之器)

是一个铜制如圆镜的盘,上刻 12 辰位,昼夜时刻,有一可绕圆心旋转的铜条作瞄准器,铜条两端各有立耳,上有小孔,供瞄准天体之用。这是一个小型星晷。可观测太阳及恒星。背面刻有七幅图,给出“东西南北日影长短之不同,星辰向背之有异”。

另外,还有两件仪象,即鲁哈麻亦渺凹只(汉译春秋分晷影堂)、鲁哈麻亦木思塔余(汉译冬夏至晷影堂)见第十一章日晷节。这些西域仪象,在回回司天监、司天台中进行观测,由其官员操作使用。从这七件仪象来看,一件是黄道浑仪,一件是用三角形比例关系,代替测角仪器得出角度,一件是星晷,二件是测定分、至时刻仪器。不用中国传统的赤道坐标系和测角,而用黄道坐标及量尺与中国传统不合;另外有关的数字知识、计算方法没有及时传进。这就使得它们仅在回回司天监、司天台的官员中应用。

而郭守敬创制的那些优秀仪器,因为与中国传统方法一致而得到好评,并很快得到重视和推广,这就造成西域仪象无法与之竞争推广了。明末清初随着传教士传播了有关数学知识,才再次较成功地传入中国。





另外两件,一件是天球仪,没有什么特点。另一具是地球仪,这个绘有陆地和江河湖海,陆海比为 3 比 7,且绘有方格坐标网的地球仪,相对于中国对地的知识来说,无疑是先进的。它没有得到推广是可惜的事情。究其原因,值得略加阐述。它主要是由中国落后的地球观造成的。

在西方,古希腊学者很早就认识到大地是球形。毕达哥拉斯是提倡地球球形的早期希腊思想家之一。亚里士多德(公元前 350 年前后)是经仔细观察而奠定地球球形基础的第一人。托勒密(约 90—168)为解决在平面图上描绘大地上的地理位置而建立了经纬度及经纬度网,并创造了地图投影学。球形大地观还促使了哥伦布的环球旅行。

而在中国直到明末利玛窦将地球球体、地理知识、地图绘制等观念及技术带入中国前,一直没有建立大地的球体概念。

因为中国古代没有纬度的概念，只有因历法工作需要进行的晷影测量，虽为回归年长度、黄赤交角等天文工作作出贡献，但一直处于这一狭窄领域内发展，受到了限制。中国古代的地图绘制，一直把地球当平面处理，因而绘成的地图只有中心区域准确。耶律楚材（1190—1244）提出的里差，是经度概念在中国之滥觞。比耶律楚材稍后到中国的札马鲁丁于公元1267年制造了这七件西域仪象。中国天文学家受到“地中”和“晷影千里差一寸”的影响是其思想根源。

因此，这件地球仪是当时中国天文地理学家难于接受的，直到300年后才被接受。而根本的原因则是受到封建统治阶级的唯我独尊政治思想的影响。

## 第四节　郭守敬的天文仪器

### 一、郭守敬创制的天文仪器

元郭守敬，创制了10多件天文仪器。效果卓著，得到当时及后代公认。除简仪、仰仪、高表景符已分别在浑仪、日晷、圭表等章节中做介绍外，还有以下仪器。

#### （一）正方案

《元史·天文志一》列有正方案专条介绍。

基本构造：是一张用木板制成的桌面，正方形，边长4尺，厚1寸，周围有水渠用以定平。案面中心有一径2寸、高2寸的矮圆柱。自中心起每隔1寸绘一同心圆，共19个，最外层圆周上绘出周天度数。圆柱上植一木棍（臬），自桌面起算高1尺5寸，夏至时减5寸，“北至则倍之”（见图16—3）。





定方向的观测：定平正方案；上午日出以后，观测臬顶端的日影与西面最外圈相交时，在交点做一标记，依次。当臬顶日影与外第二规圈相交，外第三规圈相交……一一点下标记；同样在午后当臬顶端日影在东西最内规圈及依次向外的每一规圈相交时都点上标记。把每个规圈东西两标记相连，取连线中点，中点至臬的方向即为南北线，每圆可得一条南北线，经处理后可得到一条最精确的南北方向线。这种确定方向的方法，是用圭影测定方向法的简化，省去在地面上画圆的麻烦。然正方案面积小，圆的半径远小于地面的圭影尺寸，精度差些，但方便迅速得多。

用正方案还可以测定地方纬度，即北极出地高度。方法是在正方案通过圆心绘正交的两根直线，一条代表天极方向，一条代表天赤道方向。再按黄赤交角，在代表赤道线的上、下各绘一平行线，与外规各交于两点，这两条平行线代表二至时太阳的赤纬平行圈。将案竖立置于子午面内，于冬至或夏至中午时，在案的中心及



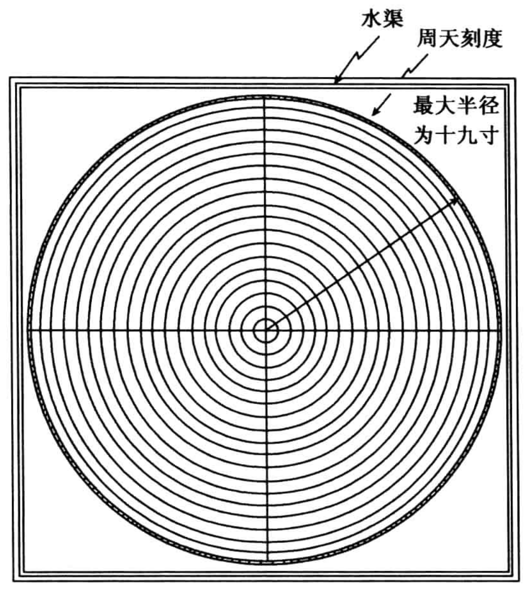


图 16—3　正方案

外规与太阳南北赤纬圈的对应交点各插一小棒。在子午面内滚动正方案，使三棒棒影重合。再在外规上挂一垂线使通过臬中心，从正方案上这一子午面上诸线的关系即可得出北极出地度数，案上的北极方向即对向天北极。用此法，可在安装浑仪、浑象、简仪等天文仪器时，校正极轴方向。

值得指出的是，在测方向时，郭守敬已注意到在两至时，由于黄道弧段与赤道弧段基本平行，上下午之间太阳赤纬变化甚小，观测精度高，即使用测外规一次定出的方向就可用了。而在二分时，由于黄赤弧段交角大，上下午之间太阳赤纬变化大，应取内规所定的线（相距的时间小）为好，且需多测几天比对才准确。




### （二）窥几

是用来配合 40 尺高表的观测，测量星、月天顶距的仪器。是一个长 6 尺，宽 2 尺，高 4 尺的木几。几面上开一条长 4 尺宽 2 寸的窗，窗的长度方向旁，刻划有尺寸分划。窥几纵跨在高表的圭面上，几面到梁心为 26 尺。在几面窗口上成正交方向（东西）放置两条长 2 尺 4 寸，宽 2 寸，脊厚 5 分，斜口成劈形的窥限。观测时，人在窥几下，从二条窥限的劈刃处分别瞄准中天天体通过横梁上缘及下缘的方向（此时需将窥限平行的在南北方向上推动），即“俟星月正中，从几下仰望，视表梁南北以为识，折取分寸中数，用为直景。又于远方同日窥测景数，以推星月高下也”。两窥限劈刃处的读数平均值，就是这天体的在窥几上投影的位置，可以换算到圭面的

位置(图 16—4)。窥几的创成,解决了星、月等不能投射影长的天体的表影观测。

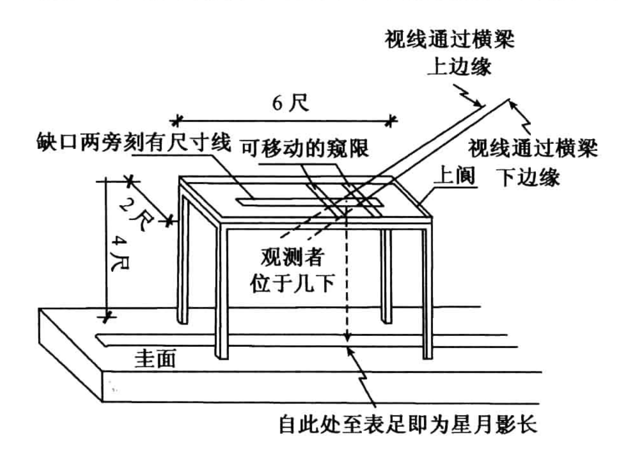



图 16—4 窥几观测示意图

### (三)大明殿灯漏

这是一具用漏水带动的,由机械传动能报时辰刻数的计时器。

灯漏高达 1 丈 7 尺,分四层。上层“环布四神,旋对日月参辰所在,左转,日一周”。每天旋转一周,能显示日、月、星辰的位置。第二层,根据中国古代用来表示天空东、西、南、北四大组星象的动物龙、虎、鸟、龟这四象分居四方,“依刻跳跃,铙鸣以应于内”。再下一层四周刻绘百刻,列十二神,各执时牌,到各时辰,开启小门,出来显示时辰。另有一木人在门内,以手指示时刻。最下一层的四个方向上,各有执钟、鼓、钲、铙的一个木人,在每个时辰的正、初内,一刻时鸣钟、二刻击鼓、三刻敲钲、四刻打铙。这些内容与过去的类似设备相比,并无特殊之处。但在灯漏的曲梁两端安装有可以张吻转目以供审查漏水下流快慢的龙首。在中梁之上,有戏珠的龙二条,随球俯仰,也可观察漏水是否均匀。这些龙饰,并非仅为装饰,而有实际作用。这具灯漏的外形可能是个圆球形,外边都装饰有金银珠宝。称为大明殿灯漏,是置于皇宫中,外形装饰精美的皇家用器,属奢侈用具。《明史·天文志》载,明灭元后,司天监进一有二木人能按时自击钟鼓的水晶刻漏,比大明殿灯漏简单得多,而明太祖因其无益而命人毁碎。但至少它反映了元代机械制造的水平。



郭守敬为提高天文观测精确度和简化方便测量工作,创制了多种天文仪器。据《元史·郭守敬传》的记载,共有下列种类:

第一类,列入《元史·天文志一》中,并为后世明确的有简仪,其中的部件立运仪是一具地平经纬仪,《郭守敬传》中把它列为一项,它是可以独立进行测量工作



的，想必在并入简仪前曾作为一个独立仪器而存在，另一部件候极仪（《元史》中称定极环），在简仪的赤道式部件上作为校正仪器极轴之用，这样可算共三种。仰仪是一种。高表及其重要辅助设备景符共二种，高表的另一附件窥几也算一种。测定方向及校正仪器极轴方向用的正方案也是一种。以上共8种，俱载在《元史·天文志》中。其结构使用均为后人熟悉，是明确的。

第二类，浑天象在《元史·天文志》中称浑象。是一个6尺直径的天球仪。可用来换算黄道和赤道坐标值。当然先用简仪观测赤道坐标，标于浑象上，用竹篾上的刻度来量度另一坐标值。这本是从张衡时就这样做的。《天文志》把它列在简仪之下，作为简仪的一个附属设备。它有机轮带动“机动轮牙隐于匮中”。也许这浑象并不比前人有更多的新内容，但郭传中列入，也可算一件。

以上两类合共九种。

第三类，郭守敬传中提到的还有：玲珑仪，证理仪，日月食仪，星晷定时仪，九表悬正仪，座正仪。这几种仪器没有结构资料以致引起后来学者有不同看法。例如，认为上述是几种仪器，最少的认为是六种；最多认为是八种，即星晷与定时仪各为一种，九表系丸表之误是一种，悬正仪又是一种。

上述几种仪器中，功用明确，但结构不一定清楚（因无资料）的有证理仪，《郭传》中说“日有中道，月有九行，守敬一之，作证理仪。”这是一种证明月行的所谓九道实即一道的演示仪器。日月食仪，《郭传》说“历法之验，在于交会，作日月食仪”，这仪器可能既可演示，又可从有关交食参数推算日月食。座正仪，《郭传》说是为四方行测者所用的，是一种便携式仪器，日本学者山田庆儿认为是一种水准仪。但缺少足够证明，究竟是什么留待研究。

余下的还有三种或六种是至今不够清楚的。玲珑仪的问题是它是浑仪还是浑象（假天仪）。九表悬正仪的问题是一具有九只表的悬正仪呢，还是丸表悬正仪？一种仪器是否需要九只表，除非像后来的西洋仪器应用游表观测，则容环规上都可安游表也许可能达到九只，但那时游表还未发明。认为是丸表悬正仪的，又把丸表和悬正仪分为两种仪器，认为丸表是一种微型半球面日晷（类似仰仪）[①]，但为了解决适用于不同纬度地方应用，认为可能是在天球赤道上安一个赤道环，上有一根可以沿环移动的晷针，它的极轴倾角还可以调节。对于悬正仪则认为是由铅垂和悬绳组成定天顶及地平方向的简便仪器。星晷定时仪，有人认为是一种，有人认为是星晷和定时仪两种，看来以是一种仪器解释比较合适。即使是两种，也是可以接受的。

对于上述仪器，作者的看法是：



① 薄树人：《试探有关郭守敬仪器的几个悬案》，《自然科学史研究》第1卷，第4期。

郭传这一段话是:“又作正方案九表悬正仪座正仪为四方行测者所用”。前提是它们皆为“便携式仪器”,既为便携式结构不可能复杂,因而可以排除有九表的可能,九应为丸之误,丸表的解释以取薄先生说法为是。丸表悬正仪可能是一件仪器,即处于悬正位置上的丸表,可能是用提环提起使其处于水平状态的丸表。因为小的丸表在使用时要保持正确位置十分重要,随意旋转会引起很大误差。另外,座正仪也许是一个万向平衡环架(两个成正交位置的圆环组成)。放在此环架上的仪器设备可始终位于水平位置。因“座”的含义可能不会是一个条状水准器。当然也可能用两个成正交的水准器来保证“座”正。在无更多资料的情况下,难于做出确切答案。

## 二、郭守敬天文仪器的特点

郭守敬创制的天文仪器,不是如前人那样在浑仪经典构造的基础上加减环规,做有限的改进,而是:

(1)创制新型式的仪器,如简仪、仰仪;

(2)从量到质发展经典仪器,如将圭表的表高增到40尺,这不是简单的增高,只有在应用景符用小孔成像原理解决表高影虚(半影的影响)这个关键问题后,才有实用意义。可以说景符这个不起眼的辅助设备实为高表观测提高精确度的关键。进而发明窥几解决应用高表观测恒星和月亮的问题。

(3)创制易制易操作、携带方便的测定方位、辅助解决仪器极轴安装时定向的正方案。

(4)定极环在组装于简仪上以前,也曾可能是确定大仪器极轴的重要附件。

(5)在简仪赤道装置的百刻环上,以阿拉伯传入的360度圆周代替传统的使用不便的365 $\frac{1}{4}$度制。在简仪百刻环与赤道环之间采用类似于滚柱轴承的圆柱轴以减少摩擦力这一先进工艺技术。



(6)证理仪,日月食仪,座正仪,星晷定时仪(不论解释为一种或二种),丸表悬正仪(解释为一或二种)等均是专用的新仪器,过去所没有的。

其中日月食仪可能就是清代的“看朔望入交仪”。按清四库全书,《皇朝礼器图式》看朔望入交仪:“铸铜为横尺,两端木座,如几形。横一尺八寸,纵七寸八分,凡三重。下为黄道,中为白道各十五度三十分。上为时刻表。左右直距。以白道距黄道南北纬度为准。正中为黄道位。日食以日体,月食以地影加黄道上,月体加白道上。皆按度分以其相掩,知入交为日月食,以相掩之分知食之浅深。以时刻表中心对白道,表端施直表,对月行距日度,视所指知食之时刻”。这是一具由相交成交角的直杆构成的演示及计算日月食之食分、时刻的仪器,很可能郭的日月食仪就是这种原理。另外,清代的安置在万向架上保持仪器在舟船上处于水平状态的“游动



地平公晷仪”中的万向架，也许与座正仪有关。

### 三、郭守敬天文仪器在明代的应用

郭守敬制的大型天文仪器，在元代始终作为主要的天文观测仪器。

明灭元后，这些仪器运到南京。在此不讨论前代铸造仪器的变动场所的沿革，简单地仅讨论明代所用仪器的种类。

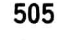
据《明史·天文志·仪象》：“南京观象台设浑天仪、简仪、圭表……明年冬乃铸铜浑天仪、简仪于北京”，“景泰六年又造内观象台简仪及铜壶”。“嘉靖二年，修相风杆及简、浑二仪。七年，始立四丈木表以测晷影……由是钦天监之立运仪、正方案，悬晷、偏晷，盘晷诸式具备于观象台，一以元法为断”。

由上可知直到嘉靖七年(1528)所用的仪器乃是元代制式，尤其是简仪更是一直使用。而四丈高表(当然一定要使用景符)，立运仪，正方案等这些郭的仪器也一直在使用。

直到明末，徐光启在崇祯二年七月的《礼部为奉旨修改历法开列事宜乞裁疏》中说：“又如见在钦天监见在浑仪、简仪、正方案等，体大费钜……”

三年十一月在《测候月食奉旨回奏疏》：“于本台日晷简仪立运仪正方案上，校定本地子午线……”崇祯四年四月在《月食推算里差疏》中说：“又令天文科官生在台用简仪测月。”

由以上资料可知郭守敬创制的主要仪器(不管是元代遗留或明代铸造的)一直在主要天文工作中使用，直到明末。清初直到西洋传教士奉命制造西法仪器前，这些仪器还在发生作用，清代康熙年间在北京及外省，还曾组织过以郭守敬的高表景符进行较大规模的圭表观测。


郭守敬是中国历代天文学家中，研制创造天文仪器，在质量和种类方面最丰硕的一人。

## 第五节　覆矩、覆矩图及其他

### 一、覆矩

一种可以测定天体或目标的天顶距(高度)的简单测角设备，唐一行用于测北极出地，称覆矩。

在《新唐书·天文志一》述及唐僧一行、南宫说进行全国子午线测量的工作中，测定测站的北极出地(纬度)时应用。“今以句股校阳城中晷，夏至尺四寸七分八厘……以覆

矩斜视，极出地三十四度十分度之四”。“自浚仪表视之，极高三十四度八分……”

汉赵君卿注《周髀算经》卷上之一载，周公请问用矩之道：“商高曰平矩以正绳。偃矩以望高。覆矩以测深。卧矩以知远。环矩以为圆。合矩以为方。”按《前汉书·律历志》云“矩者所以矩方器械，令不失其形也”。《管子·轻重已》：“规生矩，矩生方。”矩的基本形状，应是一个由两条边组成的直角形。是我国古代一种用途广泛的测量和制图工具。

僧一行的覆矩，应是一个由两条直角边组成的象限，象限弧上有 1/4 圆周的刻度，中国古度 1 圆周为 $365\frac{1}{4}$度，则此弧上应刻有 $91\frac{5}{16}$度。在两直角边相交处的中心及圆心处悬一线，线下有一个定铅垂线的重锤。观测时将矩面置在子午面内，其中一根边作为瞄准器，它可以做成中空如窥管的管状，也可以在边的两端树立两个短杆作瞄准器。瞄准观测目标，就可根据垂线与弧面相切处的分划读出天顶距或高度。

由于北极处无恒星，估计是观测北极星上、下中天或拱极星上、下中天来测定北极出地高度，需较长时间。也可能是在子午面内树一墙面将覆矩悬挂在墙上进行观测。

由于史料未具体介绍其结构，故只能做如上推测。因为它是中国古代直接测量北极出地的仪器，也是在史籍中第一次出现、使用这个名词，故予以介绍。

中国古代浑仪的安装，亦需将其极轴调整得正指北天极，但其目的只为调整仪器以供测定天体位置及运动。意义有所不同。

一行为编制历法，与梁令瓒研制了黄道游仪，他对天文仪器是精通的，制此覆矩以供携至各地观测，首先使用了北极出地这一名词以表示南、北不同地方的位置。

## 二、覆矩图





覆矩与覆矩图应为有关联的两种不同内容的工具[①]。

《新唐书》、《旧唐书》的天文志中均有“今以勾股图校之”、“以覆矩斜视”、“以图测之”、“按图斜视”、“以图校”及“沙门一行，因修大衍图，更为覆矩图，自丹穴以暨幽都之地，凡为图二十四，以考日食之分数，知夜漏之短长。”等记载。覆矩及覆矩图解释混杂，遂致有不同看法：是一物两名，抑或是两物？我们认为：

覆矩是仪器，已如前述。

覆矩图是根据北极出地及圭表测影的结果，绘制的一种图解图。

按新、旧唐书天文志记载，这一次南宫说等人所做的观测情况大体如下：4 个测子午线弧长的滑州白马、汴州浚仪、许州扶沟、豫州上蔡武津是测了夏至影长的，

---

① 中国科学院陕西天文台天文史整研小组：《我国天文大地测量及其意义》，1975 年 8 月，陕西天文台科技专题报告(四)，认为两者是一物。



并给出了影长尺寸。

阳城的北极出地“以覆矩斜视，北极出地三十四度四分”，其余滑州、浚仪、武津三地记以“自滑台表视之，高三十五度三分；自浚仪表视之，高三十四度八分，自武津表视之高三十三度八分”。明确是“视之”即观测而得的。但其中未记许州扶沟的数值，应非漏记，而是此处只测了表影而未以覆矩斜视来做观测。

接下去下一段中说到郎州、蔚州横野军的观测情况。蔚州的记载是(郎州类同)：“蔚州横野军测影，夏至长二尺二寸九分，冬至长一丈五尺八寸九分，春秋分长六尺四寸四分半。以图测之，定气六尺六寸三分半(《新唐书》作二分半)。按图斜视，北极出地四十度。差阳城五度二分(《新唐书》作五度三分)。”这里出现两个问题：其一是春秋分影长有 2 个数值，6 尺 4 寸 4 分半应为实测数值，6 尺 6 寸 3 分半则为以图测之的图解数字。其二是北极出土 40 度，是“按图斜视”而得。这四个字有两种解释：按图斜视即按矩斜视，即是以覆矩实测而得；另一种是按图斜视，为根据图解法测得。如矩为仪器，矩、图不能通用。这四个字也正是引起矩、图是否为一物的关键。

作者认为矩、图为两物，因为如上面所说能得出第二个春秋分影长的是以图测之得出的，此为图已甚明确。这样，可以认为：至少在滑州、浚仪、武津三地测了北极出地(也测了夏至影长)，其余各点大多是测了影长的。根据这些数据已可得到冬至影长、夏至影长与春秋分影长与北极出地的图解，此图在三地纬度内、外可内插外推。这样，还可以解释接着说的“又以图校安南，日在天顶北二度四分，极高二十度四分。冬至晷七尺九寸四分，定春秋分二尺九寸二分，夏至在表南三寸三分，差阳城十四度三分”。安南是早就测定过晷影的，“宋元嘉中南征林邑，五月立表望之，日在表北，交州影在表南三寸”及“开元十二年，测交州，夏至，在表南三寸三分”，可以说明“又以图校安南……”是据图解校核得日在天顶北度数，极高度数，春、秋分晷影长度。



## 三、铁勒是否施测过

《旧唐书・天文志上》载诸州测影尺寸，共列 10 地。有的认为 11 处，有的认为 12 处或 13 处。多以铁勒为其中一处，或加上阳城为 12 处，或以洛阳、阳城各为一处则共 13 处。作者认为洛阳或阳城作为基点，连此 10 处，合为 11 处。阳城古为地中，属洛阳，不大可能在阳城外的洛阳其他地方再设一点。而铁勒则是未经观测之地。理由是：《旧唐书・天文志》载有两段有关铁勒的文字。其一：“又按贞观中，史官所载铁勒、回纥部在薛延陀之北，去京师六千九百里。又有骨利幹居回纥北方瀚海之北，草多百药、地出名马，骏者行数百里。北又距大海，昼长而夕短，既日没后，天色正曛，煮一羊胛才熟，而东方已曙。盖近日出入之所云”。其中一句《新唐

书》作:"昼长而夜短,既夜,天如曛不暝,夕胹羊髀才熟而曙"。文中"曛"意,为日入后余光,即蒙影。此段纯为地理叙述,铁勒为一种族,回纥、薛延陀部皆其族。注意:说了其相对地理位置,即铁勒、回纥在薛延陀之北,骨利幹又在铁勒之北。这三地中最北的骨利幹夏季时昼长夜短,日入后还明亮,日没后煮一羊腿,刚熟,太阳又出来了。即日落至日出时间甚短。

另一段,记载林邑"日在天顶北六度六分强。极高十七度四分……冬至晷六尺九寸、定春秋分二尺八寸五分,夏至在表南五寸七分"。接下去说"若令距阳城而北,至铁勒之地,亦差十七度四分,与林邑正等,则五月日在天顶南二十七度四分极高五十二度……北至晷四尺一寸三分,南至晷二丈九尺二寸六分,定春、秋分晷五尺八寸七分……夕没亥西,晨出丑东,校其里数,已在回纥之北,又南距洛阳九千八百一十五里,则极长之昼,其夕常明。然则骨利幹犹在其南矣"。这段说的是:

(1)如果假设铁勒在阳城之北,纬度亦差 17 度 4 分(林邑在阳城南 17 度 4 分),它的冬、夏至,春、秋分晷影的数值如引文所载。那么在夏至时,太阳出于北偏东的丑位,没于南偏西的亥位。太阳以下落于地午下 15 度即又上升。

(2)这地方已在回纥之北,距洛阳 9 815 里处;由于太阳下落时间甚短又上升,因为蒙影,成为白夜。

(3)根据上述情况。那么骨利幹应在铁勒之南,因为骨利幹尚有较短的夜,时间可煮熟一羊腿。

这两段记载,说明了两个问题:一是铁勒的出地纬度。若令(假设)与阳城差 17 度 4 分(与林邑至洛阳差 17 度 4 分),这是一个假设的数值,而非实际如此。它的一些影长数值当然不可能是实测的,只能由计算而得,或紧接前文"又以图校安南……"应是从覆矩图中得到的。旁证了覆矩图的作用。二是没有在铁勒进行测影或测北极出地。"唐书"中两次出现铁勒,只为说明上述分析之用。另外,直接的证据是"唐书"中未列铁勒测影资料。[①]





## 四、有无覆矩仪的解释

如果说"按图斜视"4 个字中,矩与图为一物来解释,那么,并无覆矩这一仪器。在阳城,以覆矩斜视,极出地 34.4 度,由图解所得。"自滑台表视之……自浚仪表视之……自扶沟表视之"所得的极高,可以理解为根据表端测得的北极出地。而武陵、蔚州的北极出地由"按图斜视"也都可由图解得到来解释。这也是有可能的。也可解释那 24 张覆矩图了。

---

① 谭其骧主编《简明中国历史地图集》中,元时期全图(一)以至元十七年(1280)为准;及元时期全图(二),以文宗至顺元年(1330)版籍为准;中均标有"铁勒测景所"位置。在贝加尔湖北勒拿河下游。




# 第十七章 清代天文仪器

## 第一节 明末及清代天文仪器仍用肉眼观测

自明末西方天主教耶稣会传教士来华，明万历十一年(1583)意大利传教士利玛窦首先传入了托勒密的九重天概念等天文思想，也有星盘的构造和使用等天文仪器的理论和方法。徐光启以西法为基础修历，其中就对西法天文仪器给予足够重视。《明史·天文志·仪象》："崇祯二年，礼部侍郎徐光启兼理历法，请造象限大仪六，纪限大仪三，平悬浑仪三，交食仪一，列宿经纬天球一，万国经纬地球一，平面日晷三，转盘星晷三，候时钟三，望远镜三。报允。"这里从观测仪器，到计时仪器钟表，都已是西洋新法仪器了。当然，原来的浑仪、简仪也还是使用的。

清定鼎北京，耶稣会传教士汤若望将《崇祯历书》删改后，进呈清政府，清政府名之为《西洋新法历书》，将据以编的历称时宪历，并任汤若望为钦天监监正。此后因杨光先从排外立场状告汤若望谋反，汤若望被捕入狱险遭杀身，有一段反复。康熙七年(1668)，南怀仁上疏状告杨光先所颁历书不合天象。经审查属实，杨被治罪，任命南怀仁治理历法，又重新颁用时宪历。此后清政府在天文学术上一直信任西洋传教士，道光六年以前历任负责钦天监天文、技术工作的监正均由传教士担任。清钦天监官制是钦天监正满汉各一人，南怀仁是以汉监正的名义任职的，更改名称为监修，正式的名称为治理历法，有专任技术工作之意。雍正三年(1725)才除去监修之名，直到道光六年(1826)西洋传教士高守谦、毕学源等人有的回国，有的病亡，且西洋方法已被中国人掌握，才停止任用外国人任职钦天监。这时距清开国已近200年。由此可知，清代的天文工作受西洋方法影响之深。其中天文仪器自也不能例外。




由于在计量上使用了西方通用的360°制，因此 中国古代的365 $\frac{1}{4}$度制的仪器就不能用了。徐光启修历时制造的西法仪器，多为木制，不能持久，因而需另行制造新仪。顺便说一下，360度制曾在唐代由印度传入中国；元初阿拉伯天文仪器传入中国，也是360度制。郭守敬制造的简仪百刻环上的分划受其影响也使用360度制，但每度的小数则使用十进位制。

康熙八年(1669)，命南怀仁督造了六具新仪，即赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平

经仪、地平纬仪(象限仪)、纪限仪、天体仪,到第五年(即康熙十二年)才造成。由于观测天体的地平经度和地平纬度需分别用地平经仪及地平纬仪,观测不方便且费时,德国传教士担任钦天监官员的纪理安于康熙五十四年(1715)奉命制造了地平经纬仪,将地平经仪和地平纬仪(象限仪)组合而成。为此,纪理安借口销毁了观象台内所遗的元制浑仪简仪作为铜料,见浑仪章中有关内容。

清乾隆九年(1744),乾隆帝"复幸紫薇殿观象台"观察,见台上仪器多为西洋制度,下令再造一具仪器,于10年后造成。其实这是一具西洋制式的浑仪,与古代浑仪相比只是少了黄道环和地平环。此仪被命名为玑衡抚辰仪。

上述八具仪器都安放在观象台上做观测之用。它们的特点是:①铸造制作比较精细,使用360度分划制,使用了游标提高了读数精确度;②结构上,黄道经纬仪上装了黄极轴和黄经环规。玑衡抚辰仪上比中国古代仪器少了黄道环和地平环。可用来测定天球上任意两天体夹角的纪限仪则是中国过去没有的。

清代的天文工作主要就是由这些仪器进行观测的。各仪器具体结构等,见第二节。

清代望远镜为何未用于天文测量?

在明万历三十八年(1610)来华的天主教耶稣会传教士葡萄牙人阳玛诺,于1615年刊印的他所著的《天问略》,是在中国最早提及望远镜的文献。

自荷兰眼镜匠师利伯休于1608年制成第一架望远镜,1609年伽利略据此也制出望远镜并用于观察星空,至此仅五六年,传播可说是很快的。该书最后说"待此器至中国之日,而后详言其妙用也",可知此时实物尚未传至中国。

明天启六年(1626)汤若望译的《远镜说》,是第一部介绍望远镜的专著。1621年来华的瑞士籍传教士邓玉函在其著作《测天约说》,及1624年来华的意大利传教士罗雅谷在其所著《五纬历指》中亦均提到望远镜。



最早将望远镜实物传入中国的可能就是1622年来华的汤若望等人。崇祯七年(1634)汤若望和罗雅谷曾向明朝政府进呈望远镜,崇祯十二年(1639)意大利传教士毕方济亦献上一具望远镜。崇祯二年徐光启兼理历法报请制造望远镜三具,当时对于望远镜及在天文观察中使用望远镜这件事应是熟悉的事了。

但中国古代的天文工作,属天体测量学范畴,即测定天体的坐标。因此瞄准设备,如十字丝网、测微器、度盘、游标等与之关系密切。1638年前后,英国天文学家加斯科因首先将测微器用于天文望远镜上,在放在望远镜焦平面上的测微器,可以测量两天体的微小角距。在测微器发明以前,已有安放在焦平面上的丝网,应用对称于望远镜焦点上下、左右的垂直及水平的丝网系,可以测定天体视运动对称于望远镜视场中心的多个观测值,平均后可提高仪器的观测精度,在天体测量中十分重




要。可是一直到清末，并未将望远镜及丝网、测微器等仪器设备用于天文观测，而一直使用的是经典的目视瞄准的传统仪器。

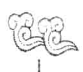
其原因可能是：

(1)传统的大型天文仪器主要用铜铸造，国内对其技术工艺可以胜任。而大型光学仪器的制造技术和工艺则无力量完成。虽然一般的望远镜早在明崇祯二年七月(1629)徐光启在他上的《修议历法修正岁差疏》中提到用仪象十事，内包括制造各种仪器，而测候七政交食远镜三架是其中一件。天文望远镜是否制成，不得而知。到崇祯七年(徐光启死后一年)，徐的继任者、督修历法右参政李天经(原官山东布政使右参政)言及徐光启说到的定时之法，特请制日晷、星晷、望远镜三器，"臣奉命接管，敢先言其略……"徐、李等提及的为编历而制造的望远镜，究竟是怎样的呢？

我们从徐光启于崇祯二年九月上的《奉旨修改历法开列事宜乞裁疏》中对于制造仪器的预算中可知：其中"自鸣钟三架，中样者每架价银五十两，大者及小而精工者价值甚多，今不必用"，"望远镜架三副，每架约工料银六两。镜不在数"。从七年二月的疏中，可知望远镜架是用铜铁木料制的，对比与自鸣钟的造价，这望远镜的支架只能是很简单的装置，不可能有度盘等设备。

那么这是一种什么样的望远镜呢？从徐光启有关治历疏稿中的内容中可知，其一在计时仪器中绝大多数提到的是漏刻而偶及钟表，可以认为钟表并未投入使用。原因不外是造价昂贵；在惠更斯应用摆的等时性控制钟速前，机械时钟精确度尚不及漏刻，每天快慢可达 20 分钟，时钟所用每天 96 刻计时制尚未被定为计时标准，与百刻计时制的换算麻烦。其二望远镜确已用于天文观测。崇祯四年十月徐光启在《日食用仪器测验疏》中言道："予将原推时刻点定日晷，调定壶漏，又将测高仪器推定食甚刻分……又于密室中斜开一隙，置窥筒眼镜以测亏复，画日体分数图版，以定食分。""仪上得日高三十五度四十分。"而食甚分数，以"窥筒映照实未及二分，比原推亦少半分以下"。"然惟密室窥筒形象分明……若不用此法，止凭目力，则眩耀不真；或用水盆映照，亦荡摇难定。"这几段文字说得十分清楚，应用望远镜窥筒仪只是为观测食甚时的影像，认为比目视及水盆法好。日食时的太阳高度是用另外的测高仪器来观测的。也就是说望远镜在这里并未起到天体测量仪器的测量角度的作用。

我们从徐光启提出的总预算，包括工作人员工薪、菜金、纸张、煤炭及近 30 架仪器的工料及批给的银两来看，到崇祯三年九月"止咨到户部事例银一百两，制造仪器等项支用讫"，"工部钱粮乏竭……至今月初九日咨到事例银三百两"。直到崇祯六年十月，徐光启在《进缴敕印开报钱粮疏》(即交印总报销)中："至于钱粮一项，

自崇祯三年正月至崇祯六年三月，共领户、礼、工三部咨到银八百七十两。"从经费情况及开展的工作来看，是不可能制造带有望远镜的精密天体测量仪器的。

(2)来华传教士中并无天文光学仪器专家，不能胜任制造大型光学天体测量望远镜的。而根本又没有向国外定制的想法，尤其天文仪器是带有政治色彩的礼器。

(3)钦天监主要工作是历法和有关的测定日月食等传统工作，在学科上和任务上均没有开展新工作的要求，承袭旧法勉强能过得去就已足。

(4)道光六年后钦天监原有传教士有的病死、有的回国，此后不再任用外国传教士，更断了了解国外先进设备仪器等的渠道。

(5)清末虽开展洋务运动，引进国外有关矿冶、铁路、电报、造船、机械、军工等工业技术和设备。但仅从强国御侮考虑，而无暇顾及天文学。

凡此种种，造成终清之世仍使用古老陈旧的经典人眼直接瞄准的天体测量仪器。

## 第二节　清制大型天文仪器

清康熙八至十二年(1669—1673)，命钦天监治理历法南怀仁监制了六件天文仪器，康熙五十四年(1715)命治理历法纪理安督造地平经纬仪。乾隆九年(1744)命造玑衡抚辰仪，此时担任钦天监治理历法的是戴进贤。清制八件大型天文仪器，均安置在北京钦天监观象台。现将清代用于天文观测的这八件仪器的结构简介如下。





### 一、赤道经纬仪

《皇朝礼器图式》卷三介绍，仪器由二层环规组成，铜铸；外层由子午环和一固连的赤道环组成。子午环外径 6 尺 1 寸，弧面厚 1 寸 3 分，宽 2 寸 5 分；赤道环直径 5 尺 9 寸。子午环两面都从极点开始刻有去极度，从 0°到 90°，每度再细分划为分；赤道环的内弧面及上面刻昼夜时刻，内面每"刻"分 15 份，每份再分为 12 等份，即约 5 秒钟。外弧面及下面刻周天度数，外面每度再分为 60 等份。从子午环南极伸出两个象限弧(半圆)以支持赤道环。内层有一个外径 5 尺 6 寸的赤经环，南北各支于子午环的极点，可在外层的赤道环内绕极点旋转，南北极点之间有轴相连，轴中央有横表长 3 寸。内层赤经环上刻有赤纬度数，每度再分 60 等份。外层赤道环和内层赤经环上各设有读数设备游表 4 个。借助于游表可在赤道环上读到 1 秒到 15 秒，在赤经环上读到 15 分。此仪用来测定地方真太阳时及天体的赤经和赤纬。仪器的子午环下部有半圆云座支承，云座下由升龙拱托。龙下为十字基座，四



脚处有定平螺旋。云座中央有一小孔,用来安放垂线(图 17—1)。



图 17—1　赤道经纬仪

## 二、黄道经纬仪

《皇朝礼器图式》卷三介绍,仪器有三层结构。外层为一子午环尺寸等与赤道经纬仪相同。中层有一过极至环(赤经环),内外弧面刻去极度分,这环外径 5 尺 5 寸,弧面厚 2 寸 3 分,宽 1 寸 1 分,过极至环支于外环的赤道南北两极孔内。在距过极至环南、北极点各 23°31′30″处为黄极,在距黄极 90°处安置一黄道环,尺寸与过极至环相同,与过极至环相交,相交的两点,近北极的为夏至点,近南极的为冬至点。黄道环内外弧上刻十二宫,每宫 30 度,每度再等分为 60 分,上下平面上分别刻宫度及节气。内层为黄道经环,外径 5 尺 1 寸 4 分,厚 2 寸 3 分,宽 9 分。黄道经环以轴穿在中层的黄极中,分划自黄道为零度,到两黄极为 90 度,刻划精度与过极至环相同。黄道经环可绕黄极轴在中层内旋转,黄极轴中央安有横表长 3 寸。在黄道环上和黄道经环上均设有横表。这仪器用来测定天体的黄经、黄纬和节气(图 17—2)。

仪器子午环的下部,如同赤道经纬仪一样,有云座、升龙、十字基座等。

## 三、地平经仪

按《皇朝礼器图式》卷三,这个仪器结构简单,有一个水平安放的地平环[①],直径 6 尺 2 寸,宽 2 寸 4 分,厚 1 寸 2 分,环上面分 4 个象限,各自南、北向东向西各刻




① 《皇朝礼器图式》卷三,地平经仪与地平经纬仪之图刊错,位置应对换。



图 17－2　黄道经纬仪

90 度，每度再等分 60 个分划；侧面则自东、西各向南向北各刻 90 度；下面则自正西向南刻 360 度。地平环的东西有一东西向的金属条相连。此环中央由一龙柱支持，东西南北也由龙柱支持。东西方的龙柱并延伸到上方并向对面伸去相交于天顶点，此处为一个由东、西龙柱延伸向对方的龙爪所捧的一个球，球心即天顶点。从此球心到地平环中心树一立表，立表上指天顶，下指地心。立表高 4 尺 4 寸，是中空的，可以旋转。立表下端有一个与之正交相连及处于水平位置的直尺称为横表，横表长度与地平环外径相等。从立表上端到横表两端各引一直线相连。这两条线和横表构成一个位于垂直面（地平经圈的面）内的等腰三角形。横表（带着两线和直表）可在水平面内转动。观测时，转动横表使两条线对准天体，就可在地平环上读出地平经度（方位角或方向角）。地平经仪 4 条龙及中央龙柱均放置在十字基座上（图 17－3）。





## 四、地平纬仪(即象限仪)

据《皇朝礼器图式》卷三，它主要是一个安放在竖直面内的象限环，象限弧的两条边一处水平，一处竖直位置，边长 6 尺，厚 1 寸 1 分，宽 2 寸 1 分。象限弧宽 2 寸 6 分，厚 1 寸 1 分。弧面正面刻 90 个分度，每度再分 60 等份。读数注记分自下而上（读天顶距）及自上而下（读高度角）。背面正中为立轴，立轴上下端支于仪器的框架内，框架由东、西立柱，上下横梁构成。立轴长 9 尺 7 寸，宽 2 寸 1 分，厚 1 寸 7 分。东西立柱高 8 尺 8 寸，上、下横梁长 7 尺 8 寸。在象限环的圆心处伸出一水平短横轴，挂一窥衡，长和象限半径相等。窥衡下端正面设一立耳，供瞄准用，背面设夹螺供固定窥衡位置用。旁为游表供在弧面上读角度用。通过游表可读到 10 秒。



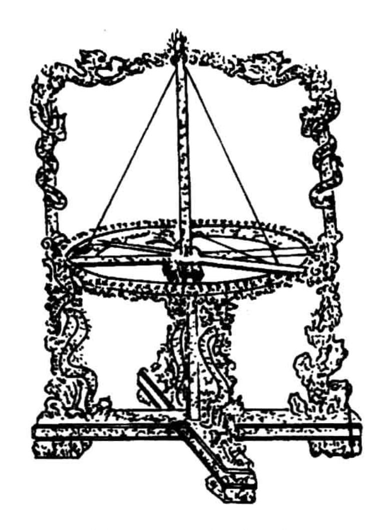


图 17—3　地平经仪

此仪供测量天体的地平纬度(高度角或天顶距)用。仪器的支架东西立柱外各有一龙拱抱,东西立柱下还各有一南北方向短梁,以使仪器稳定(图 17—4)。

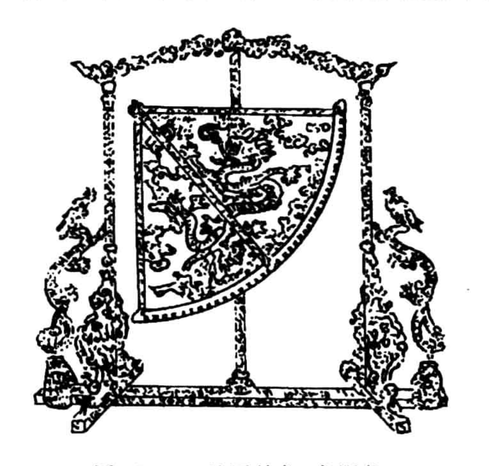


图 17—4　地平纬仪(象限仪)





## 五、纪限仪(亦称距度仪)

据《皇朝礼器图式》卷三:古代天文测量仪器都是按黄道、赤道、地平坐标系为准以测定天体在坐标系内的坐标。而并无仪器可测天球上任意两天体之间的夹角。此仪为西洋型式,主要由一个 60 度弧度和一杆构成。弧的全弦长 6 尺,面宽 2 寸 5 分。在弧的中央向两端各刻 30 度,每度又等分刻 60 分。杆长为圆的半径,即

也为6尺。杆的末端有柄,柄端有小环,用来连接滑车的钩子。杆的上端即圆心处伸出一与弧面垂直的短横轴,轴上挂一与半径等长的窥衡,末端设立耳供瞄准用。弧背面左、右各设窥表供瞄准另一天体之用。弧背有枢轴、齿轮,可以将弧面调到任意方向。观测时,先将全仪转动,使中杆指向两天体中间,再用滑车升降中杆及摇动柄轮使仪器面与两天体位于同一平面内。然后由一人用窥衡对准一天体,另一人用窥表对准另一天体。根据窥衡游表的读数和窥表的读数即可知两天体间的夹角。整个仪器由流云饰件连接,下面的立柱入于基座上,座高4尺,宽3尺,由一立龙围绕(图17—5)。

## 六、天体仪

是一个直径6尺的中空铜球,放在由地平环和上半个子午环构成的外层环架内。铜球南北极间贯以钢轴,入于子午环的南北极点内。球面刻黄道赤道、十二宫及银河、星官、恒星。黄、赤道上刻周天360度,每度又分60分,子午环上两面都刻去极度,划分与黄赤道同。恒星按6个星等大小区别。子午环与球面距离6分。在北极点于子午环上装一直径2尺的时盘。地平环宽8寸,其上内刻地平经度,外刻十二时,中间开水渠供定平用,最外边刻32个方向。用来在球体上显示黄赤坐标间及与地平坐标的关系,确定时刻等(图17—6)。

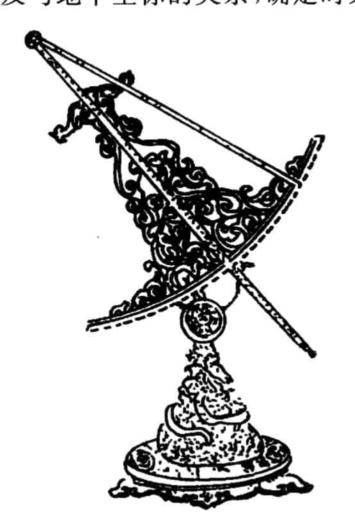


图17—5　纪限仪(距度仪)

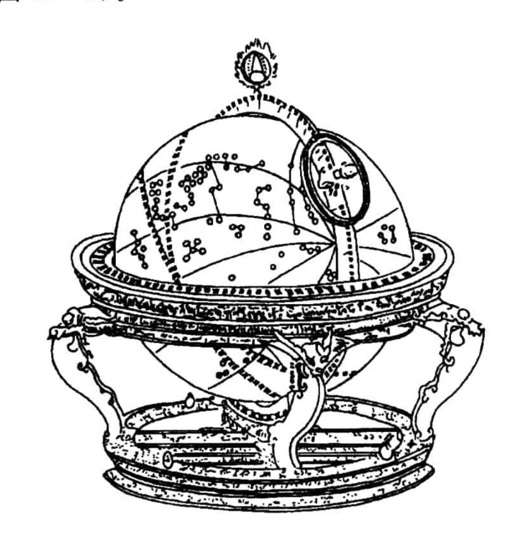


图17—6　天体仪

## 七、地平经纬仪

由于观测一天体的地平坐标,需用地平经仪和地平纬仪分别观测不够方便。




命纪理安于康熙五十二年(1713)制地平经纬仪，于康熙五十四年(据清《仪象考成》及《清会典》)制成。

它是把地平经仪和地平纬仪组合在一起而成。其地平环直径5尺，宽7寸7分；象限仪半径6尺，宽2寸7分。

但这具仪器据1900年《斯密松宁学会报告》，系法王路易十四赠给康熙帝的。因为它的制造工艺和其他几具不同，表尺用黄铜做，嵌入仪面，而不是直接刻在仪器面上；刻度皆用阿拉伯数字不用汉字；立柱、横梁，仪身都无游云、升龙为装饰；仪上未刻制造年代；没有专籍记载说明[①](图17—7)。

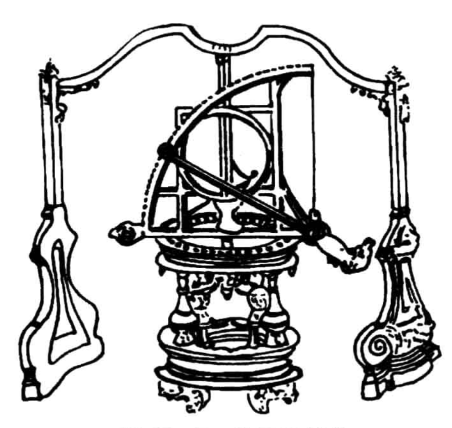
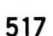
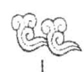


图17—7　地平经纬仪

## 八、玑衡抚辰仪

参见“浑仪”章。

上述七件加浑仪章介绍的玑衡抚辰仪(图17—8)，清制大型天文仪器共八件，另外，在光绪二十六年(1900)，因八国联军入京，观象台仪器全被德、法掠去。钦天监为应付日常观测工作，制造了一具尺寸比原折半的小天体仪和一具小地平经纬仪，前者现陈列于南京中国科学院紫金山天文台。这是中国自制的最后的古代经典天文仪器。

这八件清制大型天文仪器的特点是：①皆为铜制，由西洋传教士制造；②分划度比以前的精密，一般最小分划值为1分，都可应用游表上的指标作斜线内插，可估读到分划值的1/4到1/6(即15秒到10秒)，这是明末就已引进的，但造成的仪器至今罕见。元以前的仪器度盘分划值最多为1/4度，郭守敬简仪百刻环上分划值为6分；③采用全圆360度制，而过去的仪器只有简仪百刻环上如此，百刻环赤

① 陈遵妫：《中国古代天文学简史》，上海人民出版社，第144页。

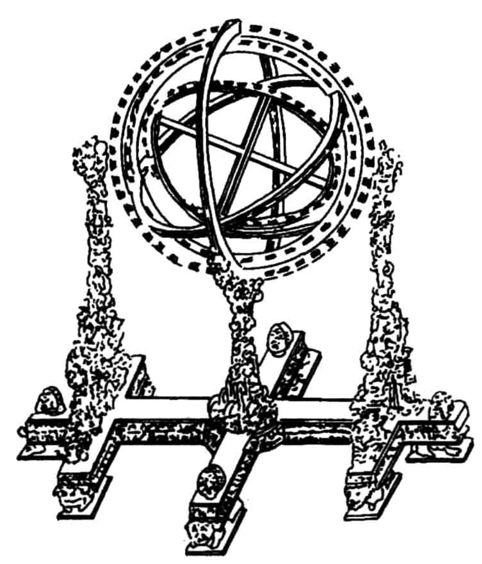


图 17－8　玑衡抚辰仪

道环上采用 96 刻制，而不是百刻制；④有的仪器不用四游仪中的窥衡装置，而在内层轴中央设带孔的横表，和环圈上的游表配合来瞄准天体。

对于用肉眼瞄准观测的经典天文仪器来说，它们的观测精度比以前要高。

## 第三节　清代的一些小型天体测量仪器

除了安置于钦天监观象台进行天文观测的大型天文仪器外，有清一代还制造了众多的小型天体测量仪器和测角仪器。绝大多数系由宫廷御制，尤其是康熙朝。由于康熙帝对天文、数学的喜爱并具相当的知识水平，对天文工作给予了重视和提倡，促进了天文工作。在他亲自主持和提倡下，宫廷中制造的小型天文仪器可分晷、仪两类，且大多保存至今。据《皇朝礼器图式》卷三简介于下。





### 一、测角仪器类

(1)方矩象限仪；

(2)矩度象限仪；

(3)四游表半圆仪；

(4)双游表半圆仪；

(5)四游表千里镜半圆仪；

(6)双半圆仪；



(7)四定表全圆仪；

(8)矩度全圆仪；

(9)小花全圆仪；

(10)测高弧象限仪；

(11)测太阳高度象限仪；

(12)双千里镜象限仪。

它们的结构，基本是在一个半圆、全圆、方形等的盘面上安装通过圆心或端线等的若干根瞄准杆，以观测天体或目标。在圆弧上绘分度线，在边线上绘与之正交的长度等分分划线，根据瞄准杆与有关分度、分划线的相交处，由比例关系得到所测的角度。其中四游表千里镜半圆仪为一用望远镜瞄准，水平度盘为半圆形的测角仪。双千里镜象限仪，应用两个望远镜分别作定表和游表，瞄准各个目标。

## 二、晷仪

(1)地平半圆日晷仪；

(2)地平赤道公晷仪；

(3)地平经纬赤道公晷仪(图 17—9)；

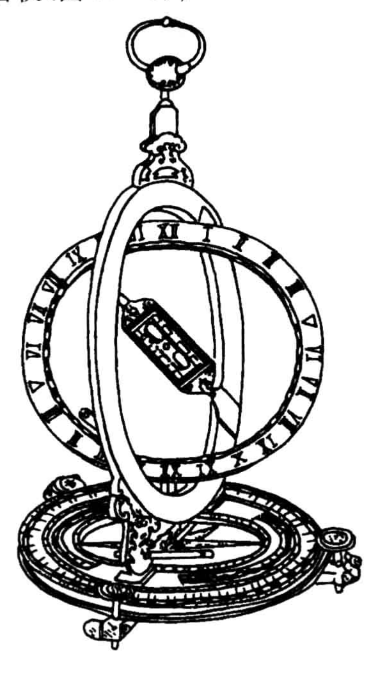


图 17—9　地平经纬赤道公晷仪

(4)方赤道地平公晷仪；

(5)八角立表赤道公晷仪；

(6)游动地平公晷仪；

(7)提环赤道公晷仪；

(8)赤道地平壁日晷仪；

(9)定南指针时刻日晷仪；

(10)日月晷仪；

(11)圆盘日月星晷仪；

(12)方月晷仪；

(13)星晷仪(图 17－10)。

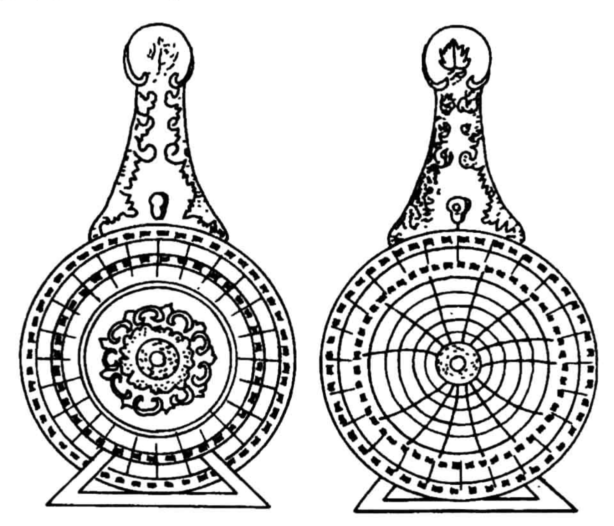


图 17－10　星晷仪





这些仪器是日晷仪和月晷、星晷仪。型式有赤道式、地平式，多带有指南针以定向。有的用两个小孔瞄准太阳；赤道式日晷则赤道面位置可按测站地方纬度调节，环面设有游表可供读取日影时刻。其中地平经纬赤道公晷仪见图 17－9。这仪通高 1 尺，下是地平盘，分内外二盘。外盘上画有子午线，下有三个定平用的脚螺旋。内盘周边刻 360 度，上有指南针及互相垂直的两个水准管。盘上立有一个竖直的圆环，上面为天顶，内有一赤道环，可沿外环转动。赤道环内有晷环，晷环两面及内壁刻有小时的时刻线。外环内有一与晷环垂直的直表，直表一面刻十二月令，一面刻十二宫。表中有缝，缝中安一游表，游表中有孔，以透日光。观测时，使游表对准月令，由小孔射出的日光照在晷面上即能读出时刻。游动地平公晷仪的地平盘置在一万向架上，可在舟船上应用。星晷仪则是由铜制的两个盘组成，地盘



径四寸二分，上刻十二时辰初正，天盘径三寸三分，上刻二十四节气，上带直表两端书帝星、勾陈。观测时将天盘直表两端对两星，根据节气可知时刻，下盘外列夜间时刻，内横为节气线，纵为更线，可按节气定每更时刻。

## 三、测量仪器

(1)简平仪；

(2)三辰仪；

(3)万寿天常仪；

(4)地平方位仪；

(5)三辰简平地平合璧仪。

上述仪器中，简平仪原系明末来华传教士熊三拔制作，徐光启曾译著《简平仪说》一书叙其内容。由上、下两盘组成，可用来求测日出入时刻、中星、月之方位、五更时刻等。三辰仪和万寿天常仪则是用来测天体之赤经、赤纬及时刻。地平方位仪，是一木质小盒，内置指南针，盒周围绘有八卦、方位，内圈有一可转之游盘，两端有一瞄准直表，观测时先根据指南针将盒与子午线对正，再转动内盘使直表对准目标，即可得到方位。是观测太阳的仪器。

## 四、演示仪器

(1)地球仪；

(2)浑天合七政仪；

(3)七政仪；

(4)看朔望入交仪。

其中浑天合七政仪由三重组件构成。外层有地平环、子午环，北极点上有一与赤道平行的小时刻盘；中层为南北极轴、二至圈、赤道圈、黄道圈、二分圈等，最内层平面圆环为黄道十二宫，中心为太阳，太阳外圈为地球，日、地各有圆盘，日盘上有金、水星，日外大盘有火、木、土三星，地盘上有月球。可以机构转动，月绕地、五星绕日转动。看朔望入交仪，由装在两木座中间的三根铜杆构成，三杆成交角，各代表黄道、白道和时刻表，用来演示、测算日月食之食分及时刻。

这些仪器制作的材料有铜、木、象牙等，尺寸有的较大，如地球仪圆周为 4 尺 5 寸；大多在 1 尺左右；小的如游动地平公晷仪直径仅约 2 寸，日月晷仪则为长 2 寸宽 1 寸 4 分的象牙制品。不少仪器上刻康熙御制，有的还有年代。有的仪器在底座相邻两边各置一露管(水准器)作定平之用。

据《图式》载这些仪器皆为御制式本朝制，根据对实物考察，发现记载有不实之

处。据白尚恕、李迪报告，八角立表赤道公晷仪的地平盘上刻有世界35个著名城市的纬度值，这是供调整晷盘面与天赤道平行时用的数据，可知此晷可能批量生产、销售量大，供各地使用，根据铭文可知此晷产于法国。赤道地平合璧日晷仪的地平盘中央有伦敦字样铭文，可能产自英国。此外尚有未列入《图式》的圆形子午式日晷，晷盘两侧各有法文铭文等。

由此可知《图式》所列日晷及故宫博物院收藏的另一些日晷，系由西洋传入，有的也许是仿制。由这些收藏的日晷可推知当时国外的制造水平以及至少是康熙帝的喜爱，否则是不会列入《图式》中去的。

当然这些外来或本国制造的日晷在民间也必有收藏制造和应用，只是没有那么多的集中收藏而已。

同样，日晷外的其他天文仪器，看来也有不少是由国外引入的或仿制的。很难想象会去独立研究制造那么多的不同型式的仪器，而且它们在宫廷中也不会有什么实用价值，由什么人操作及为何目的去操作它们！比较合理的解释只能是其中一部分因康熙帝对这方面的喜爱，而由传教士进贡或代购的结果。







# 参考文献


[1] 历代天文律历等志汇编(1～10册).中华书局.

[2] 二十五史.上海古籍出版社.

[3] 十通.商务印书馆.

[4] 十三经注疏.中华书局.

[5] 资治通鉴.上海古籍出版社.

[6] 续资治通鉴长编.上海古籍出版社.

[7] 中国大百科全书·天文卷.大百科全书出版社.

[8] (清)阮元,等,撰.畴人传.商务印书馆.

[9] [英]李约瑟.中国科学技术史.中译本.科学出版社.

[10] (宋)沈括.(元刊)梦溪笔谈.文物出版社.

[11] 中国天文学史整理研究小组编.中国天文学史.科学出版社.

[12] 陈遵妫.中国天文学史.上海人民出版社.

[13] 臧励和,等.中国古今地名大辞典.商务印书馆,1931年.

[14] (明)徐光启.徐光启集.上海古籍出版社.

[15] 梁家勉.徐光启年谱.上海古籍出版社.

[16] 郑文光.中国天文学源流.科学出版社.

[17] 郑文光,席泽宗.中国历史上的宇宙理论.人民出版社.

[18] 华同旭.中国漏刻.安徽科学技术出版社.

[19] (清)阎镇珩.六典通考.江苏广陵古籍刻印社.

[20] (明)陶宗仪,等.说郛三种.上海古籍出版社.

[21] (宋)孟元老.东京梦华录注.宋之诚,注.中华书局.

[22] (宋)吴自牧.梦粱录.浙江人民出版社.

[23] 潘鼐,向英.郭守敬.上海人民出版社.

[24] 郭盛炽.中国古代的计时科学.科学出版社.

[25] 于希贤.中国古代地理学史略.河北科学技术出版社.

[26] 钦定四库全书.皇朝礼器图式,卷三.

[27] 赵友钦.革象新书.

[28] 常福元.天文仪器志略.中华书局.

[29] 准斋心制几漏图式.清钞本.北京图书馆藏.

[30] 古今图书集成·历法典.

[31] 吴承洛.中国度量衡史.商务印书馆,上海书店重印,1984年.






[32] (宋)王应麟.玉海.
[33] 高平子.高平子天文历学论著选.台湾中央研究院数学研究所,1987年.
[34] 刘仙洲.我国古代在计时器方面的发明.清华大学理工学报单行本,1975年.
[35] 朱文鑫.天文考古录.商务印书馆,1933年.
[36] 潘鼐.中国恒星观测史.学林出版社.
[37] 陕西天文台天文史小组.中国历代天文仪器概述.
[38] 我国古代航海天文科研小组.我国古代航海天文资料汇编.1977年.
[39] (宋)苏颂.新仪象法要.
[40] (清)南怀仁.灵台仪象志.
[41] 陈遵妫.中国古代天文学简史.上海人民出版社,1955年.
[42] 中国科学院考古研究所.中国古代天文文物图集.文物出版社,1980年.
[43] (宋)薛尚功.历代钟鼎彝器款式法贴.
[44] 容庚.颂斋吉金图录.考古学社专集.第8种.1933年.
[45] 李伯诗,颜颐仲.铜壶漏箭制度.清抄本.北京图书馆藏.
[46] (清)王先谦.十一朝东华录.
[47] (清)徐朝俊.高厚蒙求.
[48] 潘鼐.现存明仿制浑仪源流考.自然科学史研究,1983年,第2卷,第3期.
[49] 阎林山,全和钧.论我国的百刻计时制.科技史文集,第6辑.上海科学技术出版社,1980年.
[50] 陈久金.张衡的天文学思想.科技史文集,第6辑.上海科学技术出版社,1980年.
[51] 郭盛炽.北宋恒星观测精度刍议.科技史文集,第6辑.上海科学技术出版社,1980年.
[52] 郭盛炽,全和钧.古观星台测景结果精度初析.自然科学史研究,1983年,第2卷,第2期.
[53] 宋代天文测时、守时仪器最大观测误差和分析.上海天文台年刊,1982年,总第4期.


[54] 白尚恕.小雁塔日晷初探.北京师范大学学报(自然科学版),1987年,第2期.
[55] 白尚恕.清真大寺日晷初探.西北大学学报,1987年,第17卷,第2期.
[56] 郭盛炽.开元黄道游仪的结构研究.中国天文学史文集,第5集.科学出版社,1989年.
[57] 王立兴.方位制度考.中国天文学史文集,第5集.科学出版社,1989年.
[58] 郭盛炽.关于西汉日晷.中国天文学史文集,第3集.科学出版社,1984年.
[59] 傅大为.论周髀研究传统的历史发展与转折.台湾:清华学报,第18卷,第1期.
[60] 金祖孟.我国测影验气的历史发展.华东师范大学学报(自然科学版),1982年,第2期.
[61] 严敦杰.牵星术——我国明代航海天文知识一瞥.科学史集刊,1966年,第9期.
[62] 城地茂.盖天论与圭表——浅析清代十尺圭表.近代中国科技史论集.
[63] 韩振华.我国古代航海用的水时计和火时计.泉州湾宋代海船科学讨论会论文.
[64] 薄树人.试探有关郭守敬仪器的几个悬案.自然科学史研究,1982年,第1卷,第4期.
[65] 陈美东.论我国古代冬至时刻的测定及郭守敬等人的贡献.自然科学史研究,1983年,第2卷,第1期.



[66] 江晓原.天学真原.辽宁教育出版社,1991 年.

[67] [英]丹皮尔,著,李珩译.科学史及其与哲学和宗教的关系.商务印书馆,1994 年.

[68] [日]新城新藏,著,沈璿,译.中国上古天文学.商务印书馆,1936 年.

[69] 库里科夫,著,吴守贤,译.新天文常数系统.科学出版社,1979 年.

[70] 钱宝琮.中国数学史.科学出版社,1964 年.

[71] 陈久金,卢央,等.彝族天文学史.云南天文出版社,1984 年.

[72] 刘南威,等.中国古代航海天文学.科学普及出版社·广州分社,1989 年.

[73] 曲安京.中国古代数理天文学.西北大学出版社,1994 年.

[74] 陈兆复.中国岩画发展史.上海人民出版社,1991 年.

[75] 潘鼐.中国古代天文仪器史(彩图本).山西教育出版社,2005 年.




# 总 跋

《中国天文学史大系》(以下简称《大系》)的研究和编著计划，创意于20世纪70年代末、80年代初。

早在20世纪70年代后期，在中国科学院的直接领导下，组织有一个中国天文学史整理研究小组，小组的成员分别来自北京天文台、紫金山天文台、南京大学天文系、北京天文馆和自然科学史研究所。这个小组的主要任务是编著一部《中国天文学史》。为了把天文学史的整理研究工作引向深入，小组还编辑了《中国天文学史文集》(1～3辑，科学出版社出版于1978、1981和1984年)、《科技史文集·天文学史专集》(1～4辑，上海科学技术出版社出版于1978、1980、1983和1992年)[①]。

1978年，《中国天文学史》书稿编著完成，交付科学出版社出版。当此之时，中国天文学史整理研究小组的同志们觉得历史上遗留下来的中国天文学史资料浩如烟海；中国天文学的历史发展也极其丰富多彩，既是整个中国文化史上一个富有特色的部分，也是世界科学史上一个极具魅力的部分。已经完成的《中国天文学史》一书虽然达到了一定的深度，在当代中国天文学史众多的出版物中是一部具有较强学术性的综合性专著。但是，总的说来，该书作者们认为，限于篇幅，也限于时间和条件，许多问题总觉得言犹未尽，全书的规模也不能与真实历史的瑰丽多姿相匹配。为此，自1979年起，人们开始思索：是否有可能编著一部与中国天文学的悠久历史和广阔内涵相适应的中国天文学史著作？商议的结果便是《大系》构想的诞生。时在1979年冬。





以后，此构想在全国天文学史界用多种方式征询意见，获得全国天文学界同行的鼓励和支持，构想日渐成熟。

1983年4月，中国天文学史整理研究小组解散，但为了部署今后的中国天文学史研究工作，中国科学院原数理学部在宣布解散该小组的同时，召开了《大系》的工作会议。会上确定了整个《大系》有16个子项目，这些子项目由7个归口单位分工负责。同时确定了以中国科学院自然科学史研究所为主编会议的召集单位。

此后，由于种种原因，主编会议虽开过多次，但核心的问题——科研经费一事

① 第4辑编成于1984年，时中国天文学史整理研究小组已经解散，只因出版社为了保持一定的连续性，编者的名字不宜改得太突然，故仍使用了该小组的落款。至于到1992年始克出版，这是由于种种复杂而可理解的原因所致，在此不赘。

却始终无法解决。因此,工作始终无法具体落实。这中间虽曾获得一笔国家自然科学基金会的资助,但数额极其有限,整个《大系》工作,仍无法启动。

时间一晃,过了7年,此时得到了两个意外的支持。其一,由于学术界老前辈、自然科学史界的泰斗之一——钱临照院士的关怀和过问,中国天文学界的老前辈王绶琯院士、叶叔华院士的鼎力支持,中国科学院数理化学局给予了经费支持,同时,该局的天文处通过天文委员会的同意也提供了部分经费。《大系》由此得到了启动的科研经费。其二,河北科学技术出版社在省新闻出版局领导的支持下,积极支持大型的、有重大科学意义的著作出版。他们知道了《大系》的编著计划后即向省新闻出版局申请了一笔专项出版基金,总数达70万元之巨。《大系》的著述计划得到了这两项强有力的支持后,遂于1990年秋,在北京召开了工作会议,重新调整的子项目为15个(原定16个子项目的负责人中已有一位英年早逝,一位患中风,无力再承担繁重的工作),组织起新的工作机构班子,于1991年经费到位后开始工作。

整个计划原定1993年完成,1995年书出齐,但由于种种复杂的原因,直到1997年7月编著工作才基本结束,这中间还包括了两项子课题的调整精减。最终完成的是一部13个子课题的《大系》。当然,作为一件科学作品而言,主持人总觉得有所缺憾,有所不满足。但是,既然主客观条件只能允许做到现在这样的程度,那么,我们也只能实事求是地来承认这个事实,并从客观现实的情况出发来评价这个事实。

第一,《大系》是迄今为止中国天文学史著作中部头最大的一部,其所涉及的深度和广度有许多都超过了以往的有关作品。例如,《中国少数民族天文学史》、《中国古代天文机构与天文教育》、《中国古代天文学词典》等,这些卷的内容过去从未有过完整而系统的研究和著述。这是《大系》的特有产品[①]。





第二,《大系》中其他各卷的内容或多或少,都有前贤们作过探究,但这次聘任的有关各卷主编,均系对各自的课题有过长期研究,多有心得的。在《大系》中他们都作出了最大的努力,即使如古代天文学思想、历法等这类古老的课题,也都有大量超乎前人的发现。至如星占术这一课题,自20世纪80年代以来受到著述家的诸多偏爱。但究其竟,大多为非天文学家的作品,对星占术的研究往往只限于社会学、历史学方面的考虑,而对星占术本身的来龙去脉、结构、原理往往无暇涉及。《大系》中的《中国古代星占学》则弥补了以往学术界的不足,深入到星占术本身的深层结构,剖析了星占术本身的发生、发展和结构、原理,从而为这一方面的研究向学术界提供了一个可靠的基础。又如,关于中国近现代天文学史,过去著述极少,

① "天文机构与天文教育"卷是最早交稿的(1994年),此后,我们发现在台北市出版了一部讨论天文机构,主要是中央机构的专著。但是,有关天文教育的内容仍未见有系统性的专著问世。



只有以往陈展云、陈遵妫两位天文学界前辈曾作系统的著述。但陈展云先生的作品是内部出版物,传世极其稀少,今已难见到。陈遵妫先生则是在其专著《中国天文学史》第四册辟有第十篇共9章17万余字来论述这一课题。陈先生是中国现代天文学发展的亲身参加者,其文多有珍贵史料。但无可讳言,其中也有若干出自回忆和传闻。待考之处,在所难免。《大系》中这一课题的主编苗永宽先生,学风极其严谨,断事行文每每必据可靠之档案文献,不可靠的传闻则必摒弃。故其总的篇幅或虽稍少于陈遵妫先生之书,但也每多可以引为参考,或补陈书所不足。至若《大系》其他各卷之长处,读者明智,自有鉴别,也勿庸我们多饶舌自夸。

第三,如同任何事物一样,《大系》自然也是一分为二的。由于种种原因,《大系》还有各种不足。首先,取消了两个子课题,这样一来,"中国天文学史导论"卷的删除,使《大系》缺少了一个总的理论框架和经验总结,并且原定的"中国天文学的起源"和"中国天文学在国外"两卷,也因故而取消,这是非常可惜的事。至于另一个子课题"中国天文文献史料学"一卷,则是属锦上添花的工作,它的被删除虽也有点可惜,但好在整个《大系》已是花团锦簇,暂缺这一项留待他日补裁也不为大害。

其次,由于本人才疏学浅,加之20世纪90年代以来又复疾病缠身,故对《大系》之学术编辑和加工的力量极其不足,于是许多卷的学术编辑加工仍只得依靠各位主编本身,致使这部由数十人参加编纂的巨著,总不免有互相抵牾各卷中疏漏差错之处也有多寡不等的存在。虽然这一切可以诿之于文责自负,但却给读者带来一些困惑和烦恼。这是作为我本人主其事者所最为不安于心的。在此我们不敢企求读者的原谅,而只是希望读者能严肃而具体地予以批评。这对我们固然是巨大的帮助,而且对整个中国天文学史的工作也是一种促进和帮助。

可以理解的是:像《大系》这样规模巨大的科研、著述工程,自始至终必须有许多单位和个人的大力支持,始克有成。虽然开列一份感谢的名单将会非常困难,但我们总觉得不见诸笔端,内心感到不安,特别有许多老同志,已退休有年,但他们的支持我们是决不能忘怀的。

为《大系》提供研究经费的单位有:中国国家自然科学基金会;中国科学院数理化学局及天文处;中国科学院天文委员会;中国科学院自然科学史研究所。

在为《大系》争取或提供科研、著述经费活动中发挥了重大作用的个人有:

钱临照、叶叔华、王绶琯、钱文藻、李满园、刘佩华、王宜、苏洪钧、汪克敏、汲培文。

《大系》是一项由多系统、多单位参加的大型科研项目。这其间必然涉及大量复杂的科研组织、管理和协调工作,没有这些复杂的工作,《大系》的开展并完成是不可能的。就这一方面而言,《大系》始终依靠着中国科学院原数理学部和改革后的数理化学局的领导。而在早期,数理化学部则是通过天文处来进行领导工作的。




这期间天文处先后有李荣竞、唐廷友、沈海璋、王宜等为《大系》做过许多工作[1]。尤其是王宜，可谓伴随《大系》立项的始终，为《大系》的组织协调和经费支持，对上下左右做了大量工作，为《大系》排除了许多我们力所不能及的障碍和困难。

20世纪90年代数理化学局的李满园、刘佩华对《大系》作了全力的支持，经过他们的努力，《大系》项目成为中国科学院的一项重点科研项目。他们二位加上王宜和陈美东组成了《大系》工作的协调委员会。

1983年以后，经数理学部委任，自然科学史研究所成为《大系》主编会议的召集单位，90年代以后，自然科学史研究所又是编委会主任的所在单位，因此，《大系》作为中国科学院的重点科研项目，自必成了自然科学史研究所历任所长和业务处长议事日程上经常要考虑、研究，并为之解决各种繁杂问题的一件大事。

对《大系》工作予以特别支持的历任所长是席泽宗、陈美东、廖克。其中前二位又是《大系》主编会议成员，他们作为主人，为《大系》出力是当然的。不过，必须指出的是，席泽宗在20世纪80年代曾作为主编会议的召集人，为《大系》工作的开展贡献了他自己的力量。陈美东为关键的90年代初的《大系》经费的获得作出了重要贡献。他还是数理化学局组织的监督《大系》经费使用的4人协调委员会成员之一。廖克则对《大系》给予了精神支持，在因各方面的原因使《大系》进度不及原计划时，他给予了理解和鼓励，使我这个项目主持人得以有勇气继续干到底。

自然科学史研究所的历任业务处处长、副处长黄炜、范楚玉、李家明、周嘉华、朱冰对《大系》给予了多方面的支持。吴晓峰也为《大系》后期的经费和上下协调工作方面作出了很多贡献。

至于其他许多有关单位的领导和个人的支持，我们在各卷的主编前言中都可以看到，我们在此也向他们一总致以深切的感谢。没有他们的支持和帮助，《大系》也是不可能完成的。

好了，书归正传，请明智的读者自己来阅读《大系》的正文，如果它能使您感到有所得，那是我们无上的荣光和欣喜；如果它使您感到有所失，那是我们最大的遗憾和不安。我们真诚地请求您给予严格的批评和指教。

《中国天文学史大系》编委会主任　薄树人

1997年7月于病榻上



---

[1] 上溯到1983年以前，中国天文学史整理研究小组的日常管理和领导工作，由数理学部委托北京天文台代管。因此，当时有关的北京天文台的领导，尤其是负责业务领导的副台长洪斯溢，也曾为《大系》计划的形成和宣传贡献过他们的心力。



# 补 记

薄树人先生的"总跋"是1997年于病榻上写成的。就在其后的两个月,他便走完了人生的最后里程,离我们远去,"总跋"竟成了一曲令人心碎的绝唱。它真实地记录了《中国天文学史大系》(以下简称《大系》)从提出设想到基本完稿的艰辛历程,也寄托了期待《大系》早日出版的殷切希望。

《大系》完全定稿的时间大约是1999年,我们这些还活着的参与者本以为可以顺利出版了,不曾想原来承诺出版《大系》的出版社因故将出版之事一拖再拖,期间,我们期待、焦虑、苦闷之情,难以言表。2006年7月,该出版社以退稿的方式中止了出版合同,这不啻是对我们的致命打击。面对困境,大家合力,起而求生,先后联系七八家出版社,可惜均无果而终。

时光流逝,2006年11月终于迎来柳暗花明的时节。中国科学院自然科学史研究所廖育群所长到昆明开会,遇到中国科学技术出版社副社长吕建华先生,细细谈及了《大系》之事,吕先生对《大系》表示了很大的兴趣,愿意尽快研究出版的事;几乎与此同时,安徽教育出版社的杨多文先生到广州出差,向广东教育出版社副社长陈兵先生介绍了《大系》之事,陈先生也表示了很大兴趣,说可以考虑出版问题。我们对两家出版社怀有同样的感激之情。吕、陈两位都是基于《大系》乃是一个重要学术领域的原创之作的认识和出版社理当出版高水平学术著作的理念而作出判断的,这是出版家所独具的眼光和胸襟。他们对学术的推崇、他们的热情,给人以清新的气息,令人欣喜。

随后的发展,可以说是中国科学技术出版社和广东教育出版社之间的君子之争,这是大家都始料未及的。从出版意愿到完成全部选题审批的程序,两家都需要时间。此外,出版《大系》需要有较大的经费投入,对此必须有所筹措,而从经济实力上看,中国科学技术出版社不占优势。应该说,从办事的节奏上看,中国科学技术出版社要稍稍快一些,这给我们留下深刻的印象。2007年2月,中国科学技术出版社吕副社长与许英副总编率先正式提出了出版《大系》的具体而可行的设想。在征求了王绶琯院士及《大系》大部分作者的意见后,主要基于方便出版具体事项操作的考虑,我们选择了在北京的中国科学技术出版社,而对广东教育出版社表达了深深的敬意。

《大系》由中国科学技术出版社出版之事,得到了国家新闻出版总署有关部门

领导的赞许,他们表示:如果书号有困难,可以向他们申请。《大系》中的《中国古代历法》、《中国古代天文学思想》与《中国古代星占学》3卷很快被选入《中国文库》第三辑。中国科学院国家天文台、中国科学院自然科学史研究所与广州市教育局还愿意继续执行当年购书的允诺。这些都是令人鼓舞的好消息。

自2007年3月开始,《大系》在中国科学技术出版社进入了紧张有序的出版作业,多年修就的善果贡献给读者的时日可待。我们需要感谢的各界贤达,除了薄先生在"总跋"中已提及者之外,自然还应包括上述诸位。

陈美东

2007年6月于北京